



CIEEMAT`19

The 5th Ibero-American Congress on
Entrepreneurship, Energy, Environment
and Technology

PROCEEDINGS



5th Ibero-American Congress on

Entrepreneurship, Energy, Environment and Technology

11th – 13th September 2019

Portalegre, Portugal

ISBN 978-84-17934-30-9



9 788417 934309 >

Portugal, September 2019

ORGANIZING COMMITTEE

Conference Management

Chairman: Ronney Arismel Macnebo Boloy, PhD. (Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), Brasil)

Chairman: Paulo Brito, PhD. (Polytechnic Institute of Portalegre, Portugal)

Chairman: Luis Pais, PhD. (Polytechnic Institute of Bragança, Portugal)

Chairman: José Luis Calvo Rolle, PhD. (Universidade de La Coruña, España)

Vocal: Ramon Sanguino Galvan, PhD. (Universidade de Extremadura, España)

Vocal: João Leitão, PhD (Lisbon Technical University and University of Beira Interior, Portugal)

Conference Manager: Monica Martins
(Theorem Conferences, United Kingdom)

SCIENTIFIC COMMITTEE

- Ph.D. Eliseu Monteiro (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. Isabel Machado (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. João Miranda (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. Paulo Brito (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. Luiz Rodrigues (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. Valentim Realinho (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. Nicolau Almeida (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. Rato Nunes (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. Luís Filipe Vieira Ferreira (Lisbon Technical University, Portugal)
- Ph.D. Mário Costa, M. (Lisbon Technical University, Portugal)
- Ph.D. António Macías García (University of Extremadura, Spain)
- Ph.D. Josélia Pedro (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. José Luís Calvo Rolle (Coruña University, Spain)
- Ph.D. Margarida Gonçalves, (UNL-FCT, Portugal)
- Ph.D. Awf Al-Kassir Abdulla, (University of Extremadura, Spain)
- Ph.D. Ronney Arismel Mancebo Boloy, (GEEMAT-CEFET/RJ, Brazil)
- Ph.D. Amilton Ferreira Junior, (GEEMAT-CEFET/RJ, Brazil)
- Ph.D. Daniel de Cerqueira Lima e Penalva dos Santos, (IFPE, Brazil)
- Ph.D. Abel Rouboa (UTAD, Portugal)
- Ph.D. Valter Silva (University of Porto, Portugal)
- Ph.D. Luís Tarelho (University of Aveiro, Portugal)
- Ph.D. Ricardo Chacartegui, (University of Seville, Spain)
- Ph.D. Tamer Ismail, (Suez Canal University , Egypt)
- Ph.D. Cândida Vilarinho, (CVR, Minho University, Portugal)
- Ph.D. Pedro RibeiroMucharreira (Institute of Education, University of Lisbon, ISCE-Institute for Education Sciences, Portugal)
- Ph.D. Marina Godinho Antunes (ISCAL-Lisbon Higher Institute for Accounting and Administration, Portugal)
- Ph.D. Ramón Sanguino Galván (University of Extremadura, Spain)
- Ph.D. Eduardo Álvarez Álvarez (University of Oviedo, Spain)
- Ph.D. Manuel Rico Secades (University of Oviedo, Spain)
- Ph.D. António Navarro-Manso (University of Oviedo, Spain)
- Ph.D. Sílvia Román Suero (University of Extremadura, Spain)
- Ph.D. Santiago Cambero Rivero (University of Extremadura, Spain)
- Ph.D. María Isabel Sánchez Hernández (University of Extremadura, Spain)
- Professor Claire Seaman (Queen Margaret University, United Kingdom)
- Ph.D. Luís Silva (Polytechnic Institute of Porto, Portugal)
- Ph.D. Aizhan Salimzhanova (Kazakh State Women's Teacher Training University, Kazakhstan)
- Ph.D. Luís Loures (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. Abel Rodrigues (National Institute of Agrarian and Veterinary Research, Portugal)
- Ph.D. José Luis Canito Lobo (University of Extremadura, Spain)
- Ph.D. Diego Carmona Fernández (University of Extremadura, Spain)
- Ph.D. Christoper Sá (Polytechnic Institute of Porto, Portugal)
- Ph.D. Jerónimo González Cortés (Centre for Scientific and Technology Research of Extremadura, Spain)
- Ph.D. Muhammad Ghaffar Doggar (COMSATS, Pakistan)
- Ph.D. Naem Abas Kalair (University of Gujrat, Pakistan)
- Professor Artur Romão (Pro-President for Employment and Entrepreneurship at the Portalegre Polytechnic Institute and C3i/IPPPortalegre)

SPONSORS & PARTNERS

SPONSORS



CONFERENCE MANAGEMENT



MEDIA PARTNERS



CONFERENCE JOURNALS



inventions

an open access journal by MDPI



proceedings

an Open Access Journal by MDPI



resources

an Open Access Journal by MDPI



technologies

an Open Access Journal by MDPI

CONTENT

Indicators of Quality and Sustainability in the Logistics Sector of Organic Products <i>Lais Alves, Felipe Velihovetchi, Elaine Vazquez</i>	1
A evolução da pequena agricultura <i>Rui Alves, Duarte Pousa, João Paulo Pereira, Pedro Oliveira</i>	2
MUSICALIZAÇÃO NA EDUCAÇÃO INFANTIL DA REDE PÚBLICA DE UMA CIDADE CAPIXABA/BRASIL <i>Kamilla Alves de Andrade, Fernanda Matos de Moura Almeida, Maria das Graças Gonçalves Vieira Guerra</i>	7
O IMPACTO DA CAFEICULTURA FRENTE AO COMÉRCIO DE IÚNA-ES/ BRASIL <i>Maycon de Freitas Junger, Sávio Dias de Oliveira, Fernanda Matos de Moura Almeida, Maria das Graças Gonçalves Vieira Guerra</i>	14
O USO DAS REDES SOCIAIS COMO FERRAMENTA DE MARKETING NO RAMO MOVELEIRO DE IÚNA-ES/BRASIL <i>Amanda da Silva Guedes Martins, Kellen Stephanny Silveira Alves, Leonardo de Oliveira Vargas, Ériton Antônio Cezar de Assis, Fernanda Matos de Moura Almeida, Maria das Graças Gonçalves Vieira Guerra</i>	21
PRÁTICAS DE LEITURA DESENVOLVIDAS EM UMA CRECHE NO INTERIOR DO ESPÍRITO SANTO/BRASIL <i>Amanda Freitas de Castro, Laurides Pimentel Henrique, Simone Mendes Alves, Júnia Moreira de Freitas, Fernanda Matos de Moura Almeida, Maria das Graças Gonçalves Vieira Guerra</i>	28
Análise dos fatores que influenciam a velocidade de desenvolvimento de novos produtos <i>Renata de Oliveira Mota, Moacir Godinho Filho</i>	36
Estratégia de Produção e práticas Lean-Green: um mapeamento da literatura <i>Genadra Alves Queiroz, Ivete Delaj, Alceu Gomes Alves Filho</i>	42
Desempenho de misturas binárias e ternárias de gasolina, biogolina e etanol em motores de ignição comandada <i>Luis Durão, Joaquim Costa, Francisco Brito, Jorge Martins, Margarida Gonçalves</i>	50
THE ATRIUM THERMAL EFFECT ON ENERGY BEHAVIOR IN BUILDINGS. AN EXPERIMENTAL CASE-STUDY <i>José António Romero Otero, Carmen Galán Marín, Carlos Rivera Gómez</i>	56
Economic evaluation of thermo-chemical conversion of lignocellulosic and WEEE residues via thermal gasification <i>Roberta Mota Panizio, Luís Felipe do Carmo Calado, Octávio Alves, Bruno Garcia, Santa Margarida Santos, Paulo Sergio Duque de Brito</i>	61
Filamento a base de ácido poliláctico y kenaf para impresión 3D <i>Manuel Acevedo Serrano, Luis Royano Barroso, Ana Parralejo Alcobendas, Juan Cabanillas Patilla, Jerónimo González Cortés</i>	66
Water washing to improve the quality of solid biofuel from plum tree pruning biomass <i>Luis Royano Barroso, Ana Parralejo Alcobendas, Juan Cabanillas Patilla, Jerónimo González Cortés, Juan Félix González González</i>	69
ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PRETRATAMIENTO EN LA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN RESIDUOS DE UVA <i>Ana Parralejo Alcobendas, Luis Royano Barroso, Manuel Acevedo Serrano, Juan Cabanillas Patilla, Jerónimo González Cortés</i>	72
ANAEROBIC DIGESTION OF ORANGE PEELWASTE AND SWINE MANURE: A CENTRAL COMPOSITE DESIGN <i>Ana Parralejo Alcobendas, Berta Riaño Irazábal, María Cruz García González, Luis Royano Barroso, Juan Cabanillas Patilla, Jerónimo González Cortés</i>	78

Validation of a Sustainable Model for the Mining-metallurgical Industry in Mexico	
<i>Rosa Elia Martínez Torres, Mariusz Bednarek, Urszula Zulawska.....</i>	<i>83</i>
Use of leachates from a mechanical biological municipal solid waste treatment plant as fertilizers	
<i>Jonathan Cardoso, Maria Vertonha, Juliana Mees, Jose Luis Díaz Tuesta, Paulo Brito, Helder T. Gomes</i>	<i>91</i>
Valorization of acidic waste oils through conversion to biodiesel catalysed by an acidic ionic liquid	
<i>Baú, A.C., Ribeiro, A.E., Queiroz, A.M., Brito, P.....</i>	<i>96</i>
Optimization of reaction conditions for biodiesel synthesis from a waste cooking oil using [HMIM]HSO₄ ionic liquid as catalyst	
<i>Goes, H., Ribeiro, A.E., Queiroz, A.M., Brito, P.....</i>	<i>103</i>
Análise de indicadores de erosão hídrica com uso de simulador de chuva em solos sob condições de seca do Nordeste de Portugal	
<i>Ana Caroline Royer, Tomás de Figueiredo, Felícia Fonseca, Fabiana Costa Arauo Schütz....</i>	<i>110</i>
Energetic valorization of coffee grounds mixed with lignocellulosic biomass in different proportions	
<i>Santa Margarida Santos, Luis Filipe Calado, Octávio Alves, Roberta Panizio, Valter Silva, Paulo Brito</i>	<i>115</i>
Técnicas de caracterização de uma liga de Níquel-Titânio com memória de forma	
<i>Carlos Alberto Rodrigues Andrade, Filipe de Almeida da Silva Soares, Glauco Tapijara Vallicelli Nobrega, Jean César Hilário, Luiz Alberto dos Santos.....</i>	<i>121</i>
A Situação da Formação em Engenharia de Energia: Uma Política Pública para o Setor Energético Brasileiro	
<i>Gisele Maria Vieira, Nival Nunes Almeida, Ronney Arismel Mancebo Boloy, Stella Maris Pires Domingues</i>	<i>126</i>
Análise do Desempenho Energético de um Edifício de Serviços – O Caso do Quartel dos Bombeiros Voluntários de Bragança	
<i>Sónia Cova, Orlando Soares, Carlos Andrade.....</i>	<i>131</i>
Small scale power generation Unit using Biomass gasification: The SUBe Project	
<i>Fernanda Resende, Valter Silva, Miguel Mendonça, António Barbosa, Paulo Brito, João Azevedo, Arlindo Almeida, Helder Gomes.....</i>	<i>137</i>
Performance improvement of a wind generation system using numerical methods in its power extraction algorithms	
<i>O. Carranza, D. Memije, J.J. Rodriguez, R. Ortega</i>	<i>143</i>
Project Based Learning in the Classroom: Application in a Computer Science Undergraduate Degree, applied to a Computer Architecture Course	
<i>Sérgio Correia, L. F. Rodrigues, J. P. S. Carrondo.....</i>	<i>149</i>
Impacto de la Metodología de Innovación Holística en las competencias de creatividad de los estudiantes mentores del programa de reciclaje de Impulsa Perú	
<i>Isaac Zúñiga Aguilar.....</i>	<i>154</i>
Simulation of a Billet Heating Furnace	
<i>Sérgio Costa, Isabel Malico, Daniel Santos, Miguel Barão, Teresa Gonçalves, Luís Rato, Paulo Canhoto, Rui Lima, Sofia Oliveira, Paulo Fontes, Susana Cravo.....</i>	<i>160</i>
Application of Near-Infrared Spectroscopy and Chemometrics for real-time monitoring during a chlorophyll extraction process	
<i>Corro-Herrera, Victor; Aguilar-Uscanga Maria; Mancebo Boloy, Ronney Arismel; Lienqueo, Maria Elena</i>	<i>165</i>

Modifications on the thermal degradation of unwanted biomass as a result of previous catalyzed hydrothermal treatment	
<i>Silvia Román, Mara Olivares, Beatriz Ledesma, Sergio Nogales, Carmen García</i>	169
Estimación del potencial energético solar en el sector centro-oriente de Bogotá - Colombia, a partir de medidas de irradiación solar global	172
A Importância da Tributação Verde para o Desenvolvimento Sustentável: Uma Abordagem Jurídico-Económica	
<i>Sara Sousa e Sofia Ligeiro</i>	178
Efeito da aplicação de condicionadores do solo na biodisponibilidade de metais pesados	
<i>Desiree Lameo Silva, Manuel Rodrigues, Tatiane Bosco, Margarida Rodrigues</i>	184
IDENTIFICANDO CONFLICTOS ENTRE GRUPOS DE STAKEHOLDERS EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA TRANSFRONTERIZA MESETA IBÉRICA (ESPAÑA-PORTUGAL)	189
Valoración Económica De Los Activos Ambientales Del Ecosistema De La Laguna De Pacucha, Distrito De Pacucha, Provincia De Andahuaylas De La Región Apurímac	
<i>Barrial, Delgado, Huaman, Tapia, Rodrigo</i>	190
Interpretações climáticas aplicadas à arquitetura bioclimática e eficiência energética nas edificações de Caxias do Sul – RS	
<i>Isabel Consoli, Juceane Biava, Fabio Cantu</i>	191
Sistemas de energía eléctrica a partir de paneles solares en comunidades del Estado de México	
<i>Alcia Cid Reborido, Pedro Tecanhuey, Jaime Samaniego</i>	197
Obtenção e caracterização físico-química de uma membrana biológica de fibroína obtida a partir do casulo do bicho da seda	
<i>Ingrid Lima, Mara Paresque, Bonifácio Fialho de Oliveira, Heleno Souza da Silva, Renata Simão, José de Castro</i>	203
Viabilidade do Ambiente de Contratação Livre para Órgãos Públicos	
<i>Humberto de Oliveira Trindade</i>	208
Influence Of Courtyard Design On The Effectiveness Of A Shading Device	
<i>Victoria Cabeza, Carmen Marín, Carlos Gómez</i>	216
Transitional Spaces As Buildings Thermal Regulators. Adaptive Comfort Criteria	
<i>Eduardo Mellado, Carmen Marín, Carlos Gómez</i>	222
Aplicación de un sistema de ayuda a las decisiones en una región del Noreste de Portugal.	
<i>Marcelo Fagundes Correia, Luís F. Nunes, João Azevedo, Fernando Pérez-Rodríguez, Monica de Castro Pardo.</i>	228
Las SIG en el aula de Historia: Visualización de las murallas históricas de Elvas y Badajoz mediante la utilización de Sistemas de información Geográfica (SIG)	
<i>M. Corrales Serrano, J. Sánchez Martín, J. Moreno Losada, F. Zamora Polo</i>	229
El uso de la realidad virtual como herramienta para el aprendizaje del patrimonio histórico y cultural. Dos ejemplos concretos: Évora y Mérida.	
<i>M. Corrales Serrano, J. Sánchez Martín, J. Moreno Losada, F. Zamora Polo</i>	230
MEASUREMENT OF ENVIRONMENTAL EFFICIENCY IN THE COUNTRIES OF THE EUROPEAN UNION WITH THE ENHANCED DATA ENVELOPMENT ANALYSIS METHOD (DEA) DURING THE PERIOD 2005-2012	
<i>Manuel Jesús Hermoso-Orzáez</i>	231
Use of biogas from Landfill in the Road TransportSector: Current State	

<i>Jéssica M. Machado, Gisele M. R. Vieira, Ronney A. M. Boloy</i>	232
ANALYSIS AND ENERGY CERTIFICATION OF AN ANDALUSIAN PUBLIC HEALTH CENTER OF THE YEAR 1957. COMPARATIVE BETWEEN THE GENERAL OPTION AND SIMPLIFIED PROCEDURES.	
<i>Francisco Javier Montiel Santiago</i>	238
ANÁLISIS Y CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DE UN CENTRO SANITARIO PÚBLICO ANDALUZ DEL AÑO 1957. COMPARATIVA ENTRE LA OPCIÓN GENERAL Y LOS PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS.	
<i>Francisco Javier Montiel Santiago</i>	239
Numerical simulation of volatile organic compounds during condensation in a vertical tube	
<i>Kaoutar Zine-Dine, Youness El Hammami, Sara Armou, Rachid Mir and Touria Mediouni</i> ..	240
Segurança de Barragens	
<i>Renata Fonseca, Simone Minioli</i>	241
Efeito do uso de condicionadores do solo na lixiviação de metais pesados	
<i>Ana Segatelli, Tatiane Bosco, Margarida Arrobas, Manuel Rodrigues</i>	246
Estudio de demanda térmica de sistema de cocido de corcho para futura integración de sistema de energía solar de media temperatura	
<i>Lozano, Mateos, Galván, Borrego, Córdoba, Calvo</i>	253
Development and design of a software tool for optical simulation of Fresnel collectors	
<i>Sepúlveda, Miranda, Rodríguez Montero, Arranz, Matamoros, Lozano</i>	259
Impacts Of Extreme Climatic Events On The Agricultural And Forestry Systems – Project Impecaf	
<i>Sofia Ramoa, Célia Gouveia, Inês Vieira, Patrícia Páscoa, Catarina Alonso, Pedro Silva, Ana Russo</i>	266
Qualidade de composto orgânico para plantio de hortaliças	
<i>Ana Segatelli, Andressa Pimenta, Giovanni Peixoto, Marcos Silva, Tatiane Bosco</i>	271
Entrepreneurship and regional development in the European Union	
<i>Vítor João Pereira Domingues Martinho</i>	275
Design of tool for the study of the economic viability of solar thermal energy projects for industrial steam generation	
<i>Miranda, Sepulveda, Lozano, Montero, Arranz, Rodriguez, Matamoros</i>	279
Carbon Cycle Assessment Via Global Ecological Human Dimension Modelling	
<i>Safwat H. Shakir Hanna</i>	284
Analisis of relevant factors in the development of solar concentrator plants for industry	
<i>Miranda, Sepulveda, Lozano, Ventura, Montero, Arranz, Rodriguez</i>	292
Análise de Variáveis de Gestão Ambiental em Parques Industriais - O Caso de Estudo da Zona Industrial de Mirandela, Portugal	
<i>Milena Ianela, Artur Gonçalves, Manuel Feliciano, Leonardo Furst, Lorena Rosado, Marina Alejos, Vanessa Corneli, Felipe Romero</i>	296
Avaliação de conforto térmico em Edifícios de Interpretação Ambiental em áreas protegidas no contexto transfronteiriço (Portugal – Espanha)	
<i>Rafael Costa, Artur Gonçalves, António Ribeiro, Manuel Feliciano, Leonardo Furst, Eliane Almeida, Maria Pérez</i>	304
El BIG FIVE como antecedente de la intención emprendedora de los académicos	
<i>Francisco Gómez, Francisco González, Jesús Mayo</i>	311

Características de três bacias hidrográficas de montanha ao longo de um gradiente climático: inferências quanto a riscos hidrológicos

Vinicius Okada, Tomas Figueiredo, Felícia Fonseca, Maurício dos Santos..... 312

Estudo Comparativo Da Microbiologia Do Solo Em Soutos Demonstração: Contributo Para O Desenvolvimento De Estratégias De Adaptação Sustentáveis

Samuel Diegues, Ermelinda Pereira, Sandra Afonso, Maria Patrício 319

Análise das Concentrações de Dióxido de Azoto (NO₂) no Concelho de Lisboa

Mark Farias, Ana Segatelli, Arthur Lima, Vinicius Okada, Manuel Feliciano 324

Technological Prospecting about the Biomass Use as a Source of Energy from the Bibliometric Analysis of Patents

Bárbara Martins, Daniel Santos, Cristina Souza, Ronney Boloy, Rafael Barbastefano, Carlos Correa 331

La Influencia de la Responsabilidad Social Gubernamental y la Legitimidad en la Imagen del gobierno Municipal. Un caso de estudio desde la perspectiva del ciudadano de Valle de Santiago, Guanajuato, México

Jessica Quiroz-García 338

Microrganismos aerotransportados e material particulado em ambiente hospitalar

Lucas D'avila, Manuel Feliciano, Marcia Agustini, Paula Baptista, Cristina Cameirão, Maria Domingues, Vanessa Yamanaka, Ermelinda Pereira..... 362

Sales and prices of still wine from the Portuguese wine regions: Insights for entrepreneurship plans

Vítor João Pereira Domingues Martinho..... 369

Cualidades Térmicas Del Sillar De Arequipa Perú

Luis Carlos Sosa, Edgar Montalvo, Karin Neira 373

A influência dos sistemas de aquecimento doméstico na Qualidade do Ar Interior em habitações

Fabiana Lira, Rafael Arioli, Manuel Feliciano..... 381

Resíduos de Desflurano e Sevoflurano em Bloco Operatório de uma Unidade Hospitalar

Vanesa Yamanaka, Ermelinda Pereira, Joseane Theodoro, Lucas D'avila, Maria Domingues, Manuel Feliciano 389

Análise da Eficiência do Tratamento de Eletrocoagulação de Efluente de Indústria Alimentícia: Eletrodos de Alumínio

Larissa da Silva, Tayla da Luz, Vanessa Yamanaka, Joseane Theodoro 397

Reduction of total phenols, total phosphorus and turbidity by uncatalytic oxidation processes in cheese whey wastewater

Ana Prazeres, Silvana Luz, Fálvia Fernandes, Eliana Jerónimo 403

Uso eficiente da água em condições de clima Mediterrânico. Um caso de estudo na cultura da romãzeira.

Ramôa, Parenzan, Fialho, Guerreiro, Soldado, Catronga, Gonzalez García, Jerónimo, Oliveira e Silva 409

Biogas and Biodiesel Production for Use in Urban Bus Fleet: A Panoramic View in the city of Volta Redond-RJ, Brazil

Kátia de Oliveira, João Travessa, Fernanda Figueiredo, Aldara César, Ronney Boloy..... 415

Avaliação de fluxos de CO₂ do solo de um sistema agroflorestral do Nordeste de Portugal

Luciléia Reis, Maria Patrício, Samuel Diegues, Giovanna Poggere, Manuel Feliciano 424

Análise dos indicadores de Qualidade do Ambiente Interno nas ferramentas de certificação ambiental de edifícios

Isabel Consoli, Carlos Andrade, Ney Tabalipa 431

Evaluación del potencial de tres azúcares simples para la producción hidrógeno por vía fermentativa

<i>Ana Maria Bautista, Dorian Garcia, Angélica Avendaño</i>	437
Aplicación de una herramienta de decisiones en la selección de la mejor práctica agrícola para síntesis de biocombustibles	
<i>Angélica Avendaño, Dorian Garcia</i>	441
Characterization of bioconcrete and the properties for self-healing	
<i>Lais Alves, Leniza Alves, Murilo Mello, Silvio de Barros</i>	444
Project Based Learning as a Tool to fill Intercultural Gap in International Learning Environments	
<i>Luiz Filipe Rodrigues</i>	450
Co-gasification of sewage sludge mixed with waste wood in different proportions	
<i>Alves, Calado, Panizio, Santos, Gonçalves, Monteiro, Brito</i>	456
Study of divergences between modelling and site works applied to geosynthetics road uses	
<i>Miguel Candel, Pablo Oleden, Carmen Jurado</i>	462
Reinforcement of pavements with geosynthetics. Estimation of effective elastic properties.	
<i>Carmen Jurado, Pablo Oleden, Miguel Candel</i>	466
On the search of innovative applications of hydrochars: use in soil amendment.	
<i>Teresa Sosa, Juan Alias, Natividad Chaves, Beatriz Ledesma, Silvia Román</i>	470

PROCEEDINGS

Indicators of Quality and Sustainability in the Logistics Sector of Organic Products

Lais Alves, Felipe Velihovetchi, Elaine Vazquez

Lais Alves

Mechanical Engineering

CEFET/RJ

Rio de Janeiro, Brazil

lais.alves@cefet-rj.br,


<https://orcid.org/0000-0003-0543-2374>

Felipe Velihovetchi

Civil Engineering

CEFET/RJ

Rio de Janeiro, Brazil

felipe.vetchi@gmail.com



Elaine Vazquez

Construction Engineering

UFRJ

Rio de Janeiro, Brazil

elainevazquez@poli.ufrj.br



Abstract — In recent years, the increasing supply of food products has generated a higher level of demand among consumers. In consideration of the immense variety of brands, types and prices, quality has ceased to be a competitive differential, becoming a necessity for those who want to stay in the market. Thus, the search for quality has become a goal for everyone within the companies. This project aims to demonstrate the importance of quality in the food industries and the processes adopted to help small businesses to maintain advantages, keeping accessible prices. The methodology described, includes the generation of standardized documents and the analysis of the results brought by adopting quality management. As a result, the paper shows a reduction of 4.6 ton of CO₂ launched at the atmosphere by adapting the logistic section of 13 small organic food businesses.

Keywords— *Quality. Sustainability. CO₂. Organic products.*

Human Resources

A evolução da pequena agricultura*

* Combate à falta de escoamento das pequenas produções e ao aumento dos terrenos baldios

Rui Alves, Duarte Pousa, João Paulo Pereira, Pedro Oliveira

1st Rui Alves
Sistemas de Informação
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
a32045@alunos.ipt.pt

2nd Duarte Pousa
Sistemas de Informação
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
a32041@alunos.ipt.pt

3rd João Paulo Pereira
Departamento de Informática e Comunicações
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
jprp@ipb.pt

4th Pedro Oliveira
Tecnologia Biomédica
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
a35507@alunos.ipb.pt

Abstract—With the rapid evolution of industry 4.0, many of the areas are evolving at an accelerated pace, as they begin to integrate concepts such as Internet of Things, Cloud Computing and others into their projects. The agricultural sector is ripe for experimenting and the first intelligent systems are beginning to appear, such as the use of "Drones" and associated technology, which has been applied, for example, to pest, weed detection and precision fumigation. In spite of the great advantages provided by these solutions, they also increase the technological gap between the urban and rural regions, making it necessary to find tools that somehow alleviate these differences. The proposed tool presents a solution to this problem, as it allows producers in low-density regions to access markets that until now would be impossible to achieve, while, at the same time, provides an almost ideal solution for the problem of labor shortages and increases in the number of vacant lots in these regions, through rural development.

Index Terms—Empreendedorismo, Meio Ambiente, Agricultura, Escoamento

I. INTRODUÇÃO

A desertificação que atinge os pequenos aglomerados populacionais e o envelhecimento da população está a tornar-se cada vez mais acentuado, o que enfraquece cada vez mais a agricultura nestas regiões.

Apesar de todos os incentivos que muitos países injetam, o escoamento de muitos produtos nestas regiões é um problema crítico.

Falamos de uma agricultura ainda muito tradicional, que por um lado compete com as grandes produções, que pela massificação conseguem ter preços mais competitivos, e que por outro lado, está refém de quem controla a cadeia-de-valor, que na maioria das vezes são os grandes distribuidores.

Disto resultam preços de venda tão baixos, que muitas vezes não compensa produzir. O cenário corrente é de todo insustentável e não prevê um futuro de sucesso para agricultura destas regiões.

Em causa, estão muitas vezes produtos de enorme e reconhecida qualidade, que têm compradores, e que até podem competir em preço, desde que o lucro não fique disperso pela cadeia-de-valor.

Aliado à dificuldade dos escoamentos, o número de terrenos abandonados nestas regiões aumenta, consequência direta do enfraquecimento do sector.

Por exemplo, em Portugal, segundo o projeto-piloto [5] "sistema de informação cadastral simplificada" que consiste identificar a área conhecida em 10 municípios, dos 114 hectares totais de área conhecida identificados até Outubro de 2018, 23 hectares foram identificados como matas florestais e baldios.

Em paralelo com os terrenos baldios, aparece também a escassez de mão de obra, uma vez que é muito comum, nestas regiões, o índice de natalidade ser muito inferior ao índice de mortalidade.

Para resolver estas questões, construiu-se um modelo de negócio viável, que não sendo solução cabal para o problema, talvez seja uma alternativa ao atual cenário - uma plataforma web para dinamização destes produtos e terrenos.

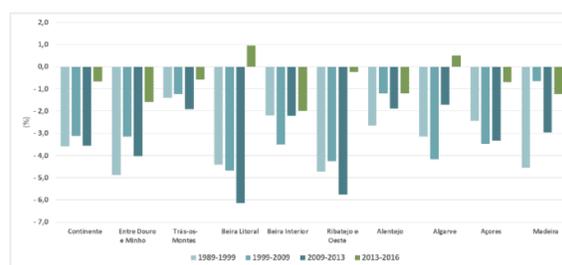


Fig. 1. Taxas de crescimento médio anual do número de explorações por região

O gráfico apresentado na figura 1, para o caso de Portugal, é um bom argumento para a necessidade deste tipo de soluções, este gráfico retirado do inquérito [6] feito pelo gabinete de planeamento, políticas e administração geral, traduz o fraco desenvolvimento da agricultura nas regiões portuguesas, esta

fraca evolução está diretamente ligada aos problemas identificados neste projeto.

Existem algumas plataformas que se aproximam do modelo desta ferramenta, mas a grande diferença, sem contar com simplicidade de utilização, está na inclusão de entidades governamentais como é o caso da Junta de Freguesia se estivermos a falar de Portugal, para além disso, como se pretende que esta ferramenta resolva problemas que estejam apenas ligados ao setor agrícola, isto oferece uma dinamização dos produtos e serviços mais eficiente, uma vez que não existem mais setores inseridos na plataforma.

De uma forma resumida, a grande vantagem tecnologia e económica [1] [2], passa por fornecer aos produtores uma ferramenta que dinamize os seus produtos, serviços ou terrenos, à distância de um clique.

A. Escoamento de Produções

É facilmente reconhecível a alta qualidade das produções existentes nestas regiões, pois os produtores acabam por concentrar os seus esforços num leque reduzido de produtos, fazendo com que muitos cresçam sem conservantes/pesticidas tornando-os muito próximos de produtos biológicos.

No entanto, apesar da sua qualidade, muitos deles acabam por não ser aproveitados quer por escassez de mão-de-obra, quer por ausência de mercado que justifique os gastos da produção.

A plataforma dá aos produtores um caminho possível para explorar os produtos com menos mercado permitindo-lhes a maximização da sua riqueza.

B. Terrenos Baldios

Com a baixa densidade populacional em crescimento, quer pelos baixos índices de natalidade quer pelo êxodo rural, novos problemas aparecem, como é o caso dos terrenos baldios.

Nos últimos anos, os terrenos por cultivar tem vindo a aumentar trazendo novos problemas económicos e ambientais.

A ausência de produções está diretamente ligada a diminuição da riqueza, uma vez que na maior parte destas regiões a agricultura é o principal e único ponto de riqueza.

Outro ponto crucial e muito problemático no que toca aos terrenos baldios, passa pelo fator ambiental. Estes tipo de terrenos, rapidamente ficam repletos de vegetação que funciona como um ótimo combustível em caso de incêndio.

Em países, como Portugal, que no verão é frequentemente atingido por este flagelo, manter o número de terrenos baldios reduzido poderá ser uma medida importante para mitigação deste problema.

A ferramenta apresentada permite a redução do efetivo de terrenos baldios solucionando também todos os problemas que lhes estão associados.

C. Escassez de mão-de-obra

Os produtores que ainda fazem a exploração agrícola nas regiões de baixa densidade, muitas vezes são postos a prova com problemas como a escassez de mão-de-obra sendo este um problema difícil de combater dada a escassez de população.

Este problema pode por em causa a sustentabilidade do setor agrícola destas regiões, uma vez que falamos de uma agricultura ainda muito pouco vocacionada para a tecnologias e com processos muito pouco otimizados.

Resolver esta questão, não só aumenta as produções ainda dependentes deste recurso, como também poderá ser uma solução possível para fazer o repovoamento das mesmas.

Como esta plataforma está dotada de funcionalidades para o efeito para além de minimizar o problema da escassez de mão-de-obra, poderá ser também um caminho para o repovoamento, uma vez que poderá obrigar a movimento de população para estas zonas.

II. DESCRIÇÃO DO PROJETO

A. A plataforma

Esta plataforma pode ser vista como um *marketplace* de produtos agrícolas e serviços. A ideia chave desta ferramenta é fornecer um elo de contacto entre o produtor e o consumidor com a maior facilidade possível.

Aposta-se na construção de interfaces intuitivas ao utilizador facilitando a sua experiência de utilização, concatenada com mecanismos inteligentes, tais como assistente de compras para o consumidor, e o assistente de vendas para o produtor.

Estas duas ferramentas irão permitir uma melhor experiência, uma vez que, para o caso do consumidor será mais fácil perceber quais os produtos que melhor se identifica, quais os melhores negócios, entre outras funcionalidades.

No caso do produtor, o assistente de vendas, permitirá ao produtor perceber qual a melhor estratégia de marketing, qual a melhor zona para promover entre muitas outras funcionalidades.

É importante reforçar que o modelo assenta na proximidade com os vários atores de forma a torna-lo mais "humano" e distinguindo-se assim dos modelos existentes, como é o caso por exemplo do *marketplace* OLX - concorrente mais direto deste projeto.

Para além do OLX permitir o registo de uma grande variedade de produtos é vocacionado para regiões com elevada densidade populacional, uma vez que não possui elementos que permitam aproximar da plataforma os utilizadores com reduzida capacidade para usar recursos como a *internet*.

A ferramenta apresentada neste artigo, para além de reduzir o *target* de produtos possíveis de incrementar, trás um *marketplace* mais próximo do utilizador final, uma vez que, está dotada de funcionalidades que minimizam o problema descrito no parágrafo anterior.

B. Regiões Alvo

Como já referido, este projeto pretende abranger regiões com baixa densidade populacional onde a dificuldade de escoamento das produções seja o principal problema da agricultura.

Com base numa breve análise demográfica feita pelos autores, identificaram-se algumas regiões alvo:

- Trás-os-montes - Portugal
- Norte Península Ibérica - Espanha

Para além disso, a nível demográfico, espera-se, ainda que de forma subtil, o repovoamento de algumas áreas que atualmente estão praticamente despovoadas.

Por fim espera-se que o número de terrenos baldios reduza, fator que esta diretamente ligado com o número de incêndios florestais e a sua severidade.

D. Cenários Futuros

Como a evolução das tecnologias de informação na última década têm ocorrido a um ritmo frenético é expectável que novas funcionalidades tenham que ser acrescentadas à ferramenta.

No lado económico, é esperado que no futuro se possa tentar a inserção desta plataforma em regiões de alta densidade mesmo sabendo da dificuldade de aceitação.

Relativamente aos fatores tecnológicos a tendência é para a criação de novos processos inteligentes de forma a melhorar a experiência de utilização de todos os intervenientes deste projeto.

Por último, tentar construir um modelo de negócio [4] que permita que os produtos e serviços sejam exportados para outros países onde está ferramenta esteja inserida.

CONCLUSÃO

Este portal será uma forma de reduzir a interioridade destas regiões e de forma indireta potenciar também a sua economia. Mas muito mais que isto, espera-se que o impacto social, económico, empresarial e ambiental seja considerável.

Socialmente várias medidas foram tomadas ao longo dos anos para promover o repovoamento destas regiões, e é importante salientar que esta plataforma é muito mais que um *marketplace* funciona como uma medida para fumentar e atrair população para estas regiões, apresentado-lhes o potencial económico da exploração das mesmas.

Uma boa parte destas regiões, dão a possibilidade de explorar terrenos muito férteis que permitem o crescimento de uma grande variedade de culturas quer em qualidade quer em quantidade, aumentando a riqueza produzida.

Para além disso, como são solos extremamente férteis, o custo de manutenção, por exemplo, com fertilizantes e pesticidas é reduzido, o que permite maximizar ainda mais a riqueza produzida pelos mesmos, por este motivo dá-se aos utilizadores, usando esta ferramenta a possibilidade de comprarem produtos com maior qualidade do que aqueles que estão à venda nas grandes superfícies. Estes fatores vão de encontro ao conceito de economia circular bem presente neste modelo de negócio.

Economia Circular, como se pode ver na figura 3, é um conceito estratégico que assenta na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia. Substituindo o conceito de fim-de-vida da economia linear, por novos fluxos circulares de reutilização, restauração e renovação, num processo integrado, a economia circular é vista como um elemento chave para promover a dissociação entre o crescimento económico e o aumento no consumo de recursos, relação até aqui vista como inexorável. Este conceito está

claramente presente neste projeto uma vez que com atuais tendências de aumento populacional, crescimento da procura e consequente pressão nos recursos naturais têm vindo a sublinhar a necessidade das sociedades modernas avançarem para um paradigma mais sustentável, uma economia mais "verde" que assegure o desenvolvimento económico, a melhoria das condições de vida e de emprego, bem como a regeneração do "capital natural", neste projeto, as soluções apresentadas para os problemas identificados vão de encontra a este conceito de economia mais "verde" e da melhoria das condições de vida, uma vez que, como já referido, o impacto social, ambiental e económico é bastante alto.

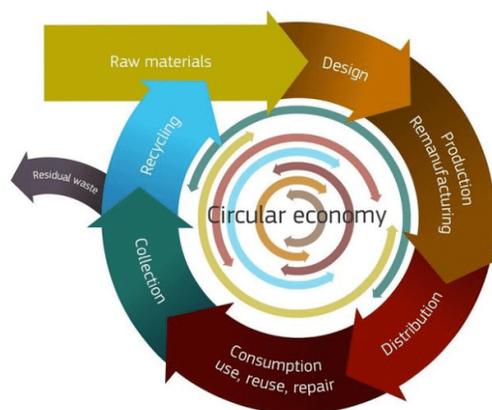


Fig. 3. Economia Circular

Do ponto de vista empresarial, essencialmente de ponto de vista de empresas que necessitem de matéria-prima proveniente da agricultura, esta ferramenta vem demonstrar o quanto vantajoso poderá ser apostar na exploração destas regiões, quer pela qualidade dos produtos, se estas comprarem a matéria-prima diretamente ao produtor, quer pela exploração dos terrenos baldios, uma vez que existe um grande número disponível.

Por último, a análise sobre o impacto ambiental do desenvolvimento deste projeto recai sobre dois pontos importantes:

- Diminuição do desperdício.
- Mitigação a incêndios florestais.

Para além de todos os problemas já identificados, muitas vezes estas regiões são extremamente afetadas pelos incêndios, uma vez que, possuem um grande número de terrenos baldios. Estes terrenos muitas vezes acabam por funcionar como combustível e motor de ignição. Facilmente se conclui que, reduzindo o número de terrenos por cultivar irá contribuir-se de forma direta, para a mitigar os incêndios florestais.

Por último, esta ferramenta permite um melhor aproveitamento daquilo que se pode considerar como recursos naturais, reduzindo o desperdício das produções que têm vindo a ser mal aproveitadas por falta de mecanismos que as promovam e dinamizem.

- Regiões do Sul do Paraná - Minas Gerais
- Beira Interior - Portugal

Todas estas regiões foram identificadas como regiões, onde esta ideia, se poderá tornar uma ideia de sucesso, uma vez que todas elas tem in comum o problema da baixa densidade populacional, fazendo com que a agricultura seja ainda muito pouco evoluída.

III. MODELO DE NEGÓCIO

Este portal vai posicionar-se no mercado como uma forma simples e fácil para os produtores dinamizarem os seus produtos e serviços, permitindo assim o acesso a novas oportunidades de negócio. Analisando pela perspectiva do consumi-

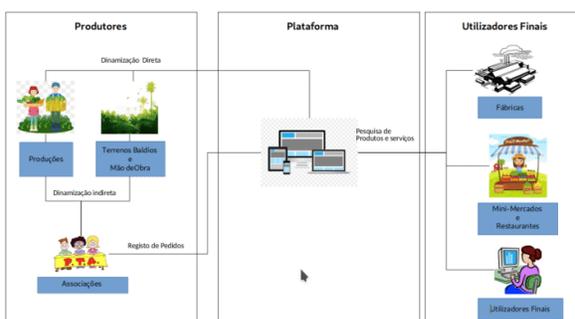


Fig. 2. Arquitetura do Modelo de Negócio

dor, terá acesso a uma nova gama de produtos de qualidade e a preços mais competitivos.

Para a escassez de mão de obra, a plataforma funcionará como uma rede de recursos, ou seja, as pessoas irão poder registar-se, manifestando a sua disponibilidade para realizar os serviços, permitindo a quem procura escolher a pessoa que mais se adequa às suas necessidades.

Olhando para os terrenos baldios, o processo de interação será idêntico, os interessados em promover os terrenos, devem utilizar o portal para os registar. Em paralelo, os interessados em explorar devem registar-se na plataforma, inserindo as características dos terrenos que pretendem encontrar assim como a região que pretendem explorar. Depois disto haverá um mecanismo automático, que tentará encontrar as melhores soluções tanto para quem oferece como para quem procura.

O principal motivo da adição deste serviço à plataforma é uma tentativa de mostrar o potencial de produção perdido nestes terrenos atraindo grandes empresas agrícolas, mostrando-lhes que devido a quantidade de terrenos disponíveis, torna-se rentável construir um modelo de negócio que permita explorar-los.

A. Vantagens e desvantagens competitivas

A solução passa por integrar no modelo de negócio [3] quem já está próximo e que lida diretamente com a população local - as associações governamentais, no caso de Portugal, as juntas de freguesia.

Caberia a estas a dinamização local do portal, efetuando o registo dos agricultores, a promoção dos produtos, e até mesmo, se o entendessem, a operacionalização da logística. Para além destas entidades, o mesmo tipo de função poderia ser feito pelas associações de agricultores, não sendo impeditivo, a utilização do portal individualmente por parte de cada produtor, como se pode verificar analisando a figura 2.

A operacionalização da logística dos pedidos por parte das juntas de freguesia/associações de agricultores tornasse a primeira principal vantagem sobre qualquer outra ferramenta deste tipo. É uma medida para combater o fator idade presente em boa parte dos produtores destas regiões. A idade na utilização deste tipo de soluções tornar-se em muitos casos um fator que inviabiliza projetos deste género, no caso desta ferramenta, a introdução das juntas de freguesias é uma forte medida de mitigação.

A ausência de qualquer contrato para assegurar o transporte tornasse outra grande vantagem, pois permite uma grande flexibilidade entre o produtor e o cliente quer no caso do levantamento dos produtos, quer no caso da exploração dos terrenos ou serviços.

B. Dimensão do projeto

A dimensão e potencial de crescimento desta ferramenta é grande quando introduzida em regiões de baixa densidade. A dificuldade existente no escoamento das produções é comum a muitos produtores que estejam localizados nestas regiões, fazendo deles um dos principais utilizadores dos serviços da plataforma, pois como já referido anteriormente esta plataforma a maximização da riqueza gerada com as produções.

Outro grupo que poderá aumentar ainda mais a procura deste tipo de plataforma, é constituído pela população que pretende ver as suas propriedades cultivadas e trabalhadas mas que não tem acesso a qualquer tipo de recurso para o fazer.

Existente ainda muitos outros fatores, que reforçam ainda mais o valor deste tipo de soluções, como por exemplo, analisando a figura 2 entidades como restaurantes, centros de dia, lares de idosos, podem ver nesta ferramenta um mecanismo que lhe permite o abastecimento de *stocks* através de uma forma fiável, fácil e que lhe garante produtos de qualidade a preços relativamente acessíveis.

Por último, será também uma ferramenta importante para empresas do ramo agrícola, pois permite analisar até que ponto é viável explorar o grande número de terrenos baldios que existem nestas regiões para obtenção das matérias primas necessárias para as suas produções.

C. Impacto Social

Sendo um caso de sucesso ou não, a plataforma irá gerar novos empregos, pois serão necessários recursos humanos para desenvolver o portal.

Em caso de sucesso, a plataforma tem um impacto muito grande no setor primário uma vez que abrirá novos fluxos de mercado em regiões de baixa densidade.

REFERENCES

- [1] T. H. Byers, R. C. Dorf, and A. Nelson, *Technology Ventures: From Idea to Enterprise*, 5th ed. : McGraw-Hill Education, 2019.
- [2] A. J. Bock and G. George, *The Business Model Book: Design, build and adapt business ideas that drive business growth*, 1st ed. : Pearson Business, 2017.
- [3] A. J. Bock and G. George, *The Business Model Book: Design, build and adapt business ideas that drive business* T. Mazzarol and S. Reboud, *Entrepreneurship and Innovation*, 3rd ed. : Tilde Publishing and Distribution, 2017.
- [4] T. Mazzarol and S. Reboud, *Entrepreneurship and Innovation*, 3rd ed. : Tilde Publishing and Distribution, 2017. A. Presse and O. Terzidis, *Technology Entrepreneurship: Insights in New Technology-Based Firms, Research Spin-Offs and Corporate Environments*: Springer, 2018.
- [5] Sistema de informação cadastral simplificada, <http://app.parlamento.pt/webutils/docs/doc.pdf>, 20 04 2019.
- [6] Inquérito à Estrutura das Explorações Agrícolas 2016, https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjD6_f8pOviAhURJBoKHwABAG0QFjAAegQIBhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.ine.pt%2Fngt_server%2Fattachfileu.jsp%3Flook_parentBoui%3D311060046%26att_display%3Dn%26att_download%3Dy&usg=AOvVaw1t_W7UMy4KcZTsDSXYev5g, 29 30 2019.

MUSICALIZAÇÃO NA EDUCAÇÃO INFANTIL DA REDE PÚBLICA DE UMA CIDADE CAPIXABA/BRASIL

Kamilla Alves de Andrade, Fernanda Matos de Moura Almeida, Maria das Graças Gonçalves Vieira Guerra

Kamilla Alves de Andrade
Faculdades Unificadas de Iúna – Doctum
Iúna-ES/Brasil
mayconjunger12@hotmail.com

Fernanda Matos de Moura Almeida
Faculdades Unificadas de Iúna – Doctum
Iúna-ES/Brasil
fernandamoura15@gmail.com

Maria das Graças Gonçalves Vieira Guerra
Universidade Federal da Paraíba - UFPB
João Pessoa-PB/Brasil
gracinhavieira@yahoo.com.br

Abstract— Considerando que a música pode ser um instrumento motivador e facilitador para o desenvolvimento motor, linguístico e afetivo dos indivíduos, e é uma linguagem muito presente na vida das crianças, a presente pesquisa tem como objetivo geral, verificar de que forma a música é utilizada no ensino da Educação Infantil da rede pública no município de Iúna-ES (zona urbana). Assim, as pesquisadoras se propuseram ainda a analisar a contribuição da musicalização no desenvolvimento do potencial criativo e da sensibilidade do educando, e entender a relação entre a música e o ensino na percepção dos professores da Educação Infantil do município de Iúna (zona urbana). Buscando fontes para responder aos objetivos propostos e confirmar ou rejeitar as hipóteses da pesquisa, foram expostas algumas teorias sobre educação infantil, a música nos ambientes escolares e musicalização como ferramenta pedagógica na educação infantil. Na elaboração e estrutura da presente pesquisa utilizou-se como metodologia a pesquisa descritiva, bibliográfica e de levantamento de dados. Para obter os resultados necessários foi utilizado questionário aplicado ao corpo docente das escolas de Educação Infantil atuantes no município de Iúna-ES (zona urbana). Um total de 45 professores foi convidado a participar da pesquisa, todavia apenas 32 professores responderam ao questionário, entretanto, o resultado foi suficiente para validar os dados da pesquisa com aproximadamente 72% de respondentes participantes. Os resultados alcançados demonstram que os professores utilizam a linguagem musical em suas aulas e reconhecem sua contribuição no desenvolvimento dos alunos. Além disso, os professores apontam diversas formas que envolvem a música na rotina da sala de aula, e a maioria confirma que o município investe na capacitação dos docentes neste sentido. Foi possível com a pesquisa, confirmar a existência de relação direta entre a música e o ensino na educação infantil.

Keywords— *Musicalização, Educação Infantil, Professores, Iúna-ES.*

I – INTRODUÇÃO

A Pedagogia é uma área de conhecimento que se preocupa com a formação dos indivíduos e suas habilidades para exercer as tarefas da vida social. A Pedagogia estuda a educação, a instrução e o ensino. Tem sua especificidade em relação às demais ciências que estudam a educação, no fato de ser uma ciência da prática e para a prática da educação [1].

Em 1998, o Ministério da Educação (MEC) publicou o Referencial Curricular Nacional para Educação Infantil – RCNEI, que regulamenta as atividades da Educação Infantil [2]. Este documento conceitua a música como uma linguagem que através do som e do silêncio expressa e comunica sensações, sentimentos e pensamentos.

A música é uma das linguagens mais presentes no cotidiano das crianças, pois desde bebês estão em contato com a música por meio das canções de ninar, rimas, cantigas de roda, além de possuir uma forte ligação com o brincar, podendo ser um instrumento motivador no desenvolvimento motor, linguístico e afetivo dos indivíduos [3], [4].

Sendo assim, esta pesquisa objetiva, verificar de que forma a música é utilizada no ensino da Educação Infantil da rede pública no município de Iúna-ES (zona urbana); analisar a contribuição da musicalização no desenvolvimento do potencial criativo e da sensibilidade do educando, na visão dos professores; e, entender a relação entre a música e o ensino na percepção dos professores da educação infantil do município de Iúna (zona urbana).

Analisando os objetivos propostos, foram desenvolvidas as seguintes hipóteses, para o resultado da pesquisa:

H₁: Os educadores utilizam a música para facilitar o processo de ensino e aprendizagem e despertar nos educandos, o gosto e a aptidão por este processo;

H₂: A maioria dos professores da educação infantil da rede pública de Iúna-ES, não utiliza a música no processo de ensino aprendizagem.

Visto que a música pode facilitar o processo de ensino e aprendizagem, desenvolvendo os aspectos físico, psicológico, intelectual e social da criança na Educação Infantil, ressalta-se a importância desta pesquisa para as escolas. Tanto professores como alunos podem ser beneficiados com os resultados deste instrumento pedagógico se forem bem trabalhados em sala de aula.

II – A MÚSICA NO AMBIENTE ESCOLAR

Em conformidade com os estudos de [5], a música deve ser vista como motivador para o processo de desenvolvimento do ser humano, uma vez que proporciona momentos de bem estar e contribui para a formação do indivíduo.

Todavia, os professores da educação infantil têm desenvolvido de forma equivocada várias práticas educativas no que diz respeito ao uso da música no ambiente escolar [6]. A música tem sido trabalhada como algo pronto e de forma repetitiva nos ensaios, comemorações e datas festivas onde as músicas e as coreografias são escolhidas pelos educadores e as crianças apenas repetem [7].

Considera-se com base no RCNEI que em vários momentos a música tem sido utilizada na educação infantil com intuito de atingir objetivos específicos, dentre eles, a formação de hábitos, atitudes e comportamentos. Estas práticas estão sendo repensadas, mas ainda existe um atraso se comparar o ensino da música com o ensino de outras áreas de conhecimento. Portanto, as dificuldades encontradas para integrar a linguagem musical no ambiente escolar, estão relacionadas ao resultado da metodologia utilizada, a repetição e a imitação [2].

Mediante este contexto, entende-se que é preciso mudar a metodologia empregada para inserir a linguagem musical no contexto educacional. A música não deve ser desenvolvida apenas através da reprodução e da imitação, visto que precisa ser um trabalho cujo conhecimento se constrói, de maneira agradável, despertando o interesse do educando [7].

Tendo em vista a realidade de muitas escolas e a necessidade de modificar as práticas adotadas para se trabalhar com a música, pode-se afirmar mediante a teoria de [6], a existência de um ponto importante, no que diz respeito à interação entre o educando e a música, a liberdade de expressão que permite à criança criar sua própria música, dança, batucada e ritmo.

Com embasamento na teoria de [8], é preciso entender a missão e responsabilidade da música na educação infantil e então trabalhar de forma a possibilitar o desenvolvimento da criatividade, do gosto estético e aumentar a visão de mundo do educando.

A música não é inserida na escola com objetivo único de formar músicos, pois o trabalho com a música pode despertar e desenvolver inúmeras habilidades e possibilidades do corpo e da mente de cada indivíduo. Ao trabalhar com a música na escola é necessário proporcionar aos educandos oportunidades de apreciação e criação, com intuito de contribuir com o crescimento cultural e com a construção do conhecimento individual e coletivo [9].

III - MUSICALIZAÇÃO COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA NA EDUCAÇÃO INFANTIL

Consoante aos estudos de [8] entende-se que a musicalização é um recurso que contribui para a construção da educação musical. Neste contexto, trabalha-se a música juntamente com o lúdico proporcionando à criança o desenvolvimento e aperfeiçoamento de sua audição, organização, imaginação, coordenação motora, memorização, socialização e expressividade.

Com base no RCNEI, afirma-se que o contato com a música, mesmo que seja intuitivo e espontâneo, desde os primeiros anos de vida é parte essencial do processo de musicalização. A música proporciona experiências de vivência, percepção e reflexão [2].

Considerando os estudos de [10], a musicalização é uma ferramenta facilitadora do processo de aprendizagem, uma vez que através da música a criança aprende a ouvir de maneira ativa e reflexiva. Quando a música é introduzida na educação infantil faz do ambiente escolar um lugar mais agradável, permitindo que a criança aprenda vários conteúdos através da ludicidade.

A linguagem musical, além de ser um caminho para alcançar a interação entre os alunos, é um recurso pedagógico que colabora com o processo de ensino, aprendizagem e socialização do educando, visto que desenvolve a ludicidade, a memória e o potencial criativo [11].

De acordo com a teoria apresentada por [12], a música é um fator muito importante nesta etapa, capaz de contribuir com o desenvolvimento da criança, estimular sua independência nas atividades do dia a dia e estimular a socialização.

A partir da interação com o ambiente é que se constrói o conhecimento, portanto, quando a música é parte do ambiente escolar, contribui com o desenvolvimento da criança e pode modificar o significado das experiências vividas e dos conhecimentos adquiridos [13].

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação [14] estabelece para a educação infantil o desenvolvimento integral da criança. Segundo [15] a musicalização deve ser considerada como uma possibilidade de promover esse desenvolvimento, quando trabalhada corretamente tem potencial para facilitar os mais diversos contextos que estão ligados ao raciocínio lógico e à aprendizagem.

Tendo como base a teoria apresentada por Procópio (2015), certifica-se de que o ato de ensinar música, principalmente na educação infantil, é uma ferramenta de transformação social, capaz de desenvolver aspectos importantes para a formação humana, entre eles, o respeito, a amizade, a cooperação e a reflexão.

E ainda com fundamento em [16], a musicalização tem a capacidade de estimular o aluno com dificuldades de aprendizagem, além de facilitar o processo de inclusão da criança com necessidades educacionais especiais.

Conforme a teoria apresentada por [17], em cada fase de desenvolvimento a criança apresenta um comportamento diferente, e o educador precisa estar atento a esta questão para ajudar quando necessário. Uma atividade realizada com a música tem a capacidade de desenvolver, por exemplo, a sensibilidade, criatividade, imaginação, atenção, movimentação e a socialização. As particularidades trabalhadas, por meio das atividades musicais, são capazes de estimular o desenvolvimento intelectual da criança.

IV-METODOLOGIA

Esta pesquisa tem como objeto de estudo a musicalização nas escolas de educação infantil do município de Iúna-ES (zona urbana). Quanto à classificação metodologia, esta pesquisa é descritiva, bibliográfica, e de levantamento de dados considerando os ensinamentos de [18], [19], [20]. Para a coleta dos dados, utilizou-se um questionário aplicado aos professores da Educação Infantil (zona urbana) que atuam no município de Iúna-ES.

Um total de 45 professores foi convidado a participar da pesquisa, entretanto 32 respondentes (71%), percentual suficiente para validar a pesquisa. Os questionários foram entregues aos professores, por meio de visita *in loco*, na escola onde atuam. O prazo estabelecido para retorno dos questionários foi de uma semana. Depois de aplicados os questionários, todos foram tabulados utilizando a média aritmética e analisados quantitativamente.

V- RESULTADOS OBTIDOS

Perfil dos respondentes: 100% dos respondentes é do sexo feminino; com idade entre 31 e 50 anos (73%); com especialização concluída (97%), 78% têm mais de 11 anos de atuação na Educação Infantil e 100% dos respondentes afirmaram que utilizam a música como ferramenta pedagógica.

Quanto à avaliação da linguagem musical na educação infantil observou-se que para 72% dos professores, a música auxilia no desenvolvimento da criatividade e autonomia das crianças; 75% entendem que os alunos se envolvem mais com a aula e memorizam alguns ensinamentos por meio da utilização da música; e 66% dos professores avaliam a música como um importante instrumento pedagógico.

Percebe-se que os professores de educação infantil de Iúna (zona urbana) reconhecem a capacidade da linguagem musical de influenciar de forma positiva o processo de ensino e aprendizagem.

Foi questionado aos respondentes de que forma utilizam a música no contexto escolar. A tabela 01 demonstra os resultados obtidos.

Tabela 01: De que forma você utiliza a música?

Respostas	%
Em datas comemorativas	56
Para auxiliar na memorização de conteúdos	78
Não utilizo músicas em minhas aulas	0
Para auxiliar na formação de hábitos saudáveis	72
Quando existe orientação da pedagoga da escola	12
Quando as crianças solicitam	25
Durante os momentos de recreação dos alunos	56
Na realização da rotina diária	78

Fonte: Dados da pesquisa

Considerando os resultados apresentados na tabela 01, é possível afirmar que os professores da educação infantil de Iúna-ES (zona urbana), têm trabalhado a música de maneira diversificada em busca do alcance do seu objetivo de contribuir com o processo de aprendizado dos alunos.

De forma geral, os professores reconhecem que a música contribui para o desenvolvimento potencial criativo, autonomia e sensibilidade dos alunos.

Um total de 78% dos professores participantes da pesquisa entende que quando a criança está em contato com a música aprende a se relacionar melhor com as outras crianças, sendo capaz de interagir de forma mais harmoniosa viabilizando a interação entre as crianças.

Além disso, durante as aulas trabalhadas com música 81% dos pesquisados percebem que os alunos aprendem com maior facilidade e 75% que os alunos são mais participativos.

Visando entender a relação do lúdico e a música no desenvolvimento das crianças, questionou-se aos professores que características estes percebem quando associam essas atividades em suas aulas. Os resultados obtidos são demonstrados por meio da tabela 02.

Tabela 02: Trabalhando o lúdico com a criança através da música, percebo que elas desenvolvem as seguintes características:

Respostas	%
Aperfeiçoam a audição	56
Despertam a hiperatividade	0
Se apresentam mais expressivas	78
Desenvolvem a coordenação motora associando a dança à música	87
Ficam agressivas	0
Desenvolvem a imaginação	81
Desenvolvem a socialização	81

Fonte: Dados da pesquisa

Nota-se que os resultados apontados pelos professores, são de características positivas: aperfeiçoamento da audição, expressividade, desenvolvimento da coordenação motora, imaginação e socialização. Características como agressividade e hiperatividade foram inseridas nas opções de resposta, mas nenhum professor entende que sejam desenvolvidas nas crianças quando se trabalham lúdico associado à música. De forma geral, os resultados percebidos por este trabalho, são positivos.

Foi questionado aos professores, como eles percebem os resultados do trabalho realizado com a música no ambiente escolar, e 84% dos pesquisados responderam que a música faz com que a aprendizagem aconteça de forma prazerosa, 53% de forma atrativa e 50% de maneira significativa. Nenhum professor entende que a música apresente resultados negativos no contexto escolar.

A música é um meio de interação entre os alunos e uma ferramenta pedagógica capaz tanto de influenciar o processo de socialização, quanto de contribuir com a aprendizagem, visto que desenvolve a ludicidade, a memória e o potencial criativo do aluno [11]. Quando questionados a respeito desta afirmativa, o resultado desta pesquisa mostra que todos os respondentes (100%) concordam com o exposto.

Questionou-se acerca da capacitação que o município oferece aos professores, e 71% dos respondentes afirmaram que o município incentiva o trabalho com a música e fornece materiais necessários ao desenvolvimento deste trabalho.

VI – CONCLUSÃO

A presente pesquisa respondeu aos objetivos propostos pelas pesquisadoras, visto que possibilitou verificar que a música é utilizada na Educação Infantil da rede pública de Iúna-ES (zona urbana) de maneira diversificada. Alguns professores trabalham a música em datas comemorativas, por orientação da pedagoga da escola, quando as crianças solicitam, ou durante os momentos de recreação. Mas a maioria dos professores disse que utiliza a música na formação de hábitos saudáveis, para auxiliar na memorização de conteúdos e na rotina diária das atividades em sala.

A visão dos professores de maneira geral é de que a música contribui no desenvolvimento potencial criativo, da autonomia e da sensibilidade do educando, uma vez que mencionam que os alunos se envolvem mais com a aula e memorizam alguns ensinamentos por meio da utilização da música que é um instrumento pedagógico importante.

Outros pontos abordados na pesquisa remetem ao mesmo entendimento exposto anteriormente uma vez que a maioria dos professores indica que os alunos apresentam maior interesse nas aulas que envolvem a música, aprendem com mais facilidade, participam mais e acham a aula mais prazerosa. Assim, torna-se clara a relação existente entre a música e o ensino na educação infantil.

Identificou-se ainda por meio dos dados coletados, que o corpo docente atuante na educação infantil do município de Iúna-ES, é capacitado para conduzir bem seu trabalho e reconhece os benefícios proporcionados pela linguagem musical, utilizando-a com frequência em suas aulas.

Em relação às hipóteses da pesquisa, confirmou-se a H_1 e a H_2 foi rejeitada, visto que o cenário percebido nesta pesquisa é de que a maioria dos professores utiliza a música como instrumento pedagógico e afirma obter resultados positivos com este trabalho.

O tema abordado é relevante e merece atenção. Tendo em vista que por meio da literatura apresentada e dos resultados obtidos com esta pesquisa identificou-se os benefícios que a musicalização oferece aos educandos e ao processo de ensino aprendizagem corroborando com desenvolvimento dos aspectos físico, psicológico, intelectual e social da criança, entende-se a necessidade de maior exploração do tema com novas pesquisas em outras regiões para frisar a importância desta temática.

REFERÊNCIAS

- [1] LIBÂNEO, José Carlos. Didática. “Coleção magistério, 2º grau. Série de formação do professor”. São Paulo: Cortez, 1994.
- [2] BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Educação Fundamental. “Referencial Curricular Nacional para a Educação Infantil: Conhecimento de Mundo”. Brasília: MEC/SEF, 1998. Vol. 3.
- [3] BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica (2006). “Prêmio professores do Brasil”. Brasília: 2006.
- [4] MARTINS, R. P. L. “Contribuição da música no desenvolvimento das habilidades motoras e da linguagem de um bebê: um estudo de caso”. 2004.
- [5] CORREIA, Márcia Soares. “A importância da música na educação infantil”. 2013. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Pedagogia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.
- [6] SARAIVA, Rosângela Martins. “Música na educação infantil”. 2013. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Pedagogia) – Faculdade de Educação da Universidade de Brasília/Universidade Aberta do Brasil, Alto Paraíso de Goiás, 2013.
- [7] FELICIANO, SarynnaZiretta. “A Música na educação infantil”. 2012. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Pedagogia) – Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium, Lins, 2012.
- [8] GOHN, Maria da Glória; STAVRACAS, Isa. O papel da música na educação infantil. “Eccos Revista Científica”. São Paulo, v. 12, n. 2, p. 85-103, jul./dez. 2010. Disponível em: <http://www.redalyc.org/pdf/715/71518580013.pdf> Acesso em: 20 de maio de 2018.
- [9] MANZANO, Caroline Alaby. “A importância das aulas de música na Educação Infantil”. 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=UEwZLRGzHSQ> Acesso em: 30 de agosto de 2018.

- [10] ANDRADE, Annielly da Silva. “A música como instrumento facilitador da aprendizagem na educação infantil”. 2012. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Pedagogia, Universidade Estadual da Paraíba, Guarabira, 2012. Disponível em: [http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1327/1/PDF-Annielly da Silva Andrade.pdf](http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1327/1/PDF-Annielly%20da%20Silva%20Andrade.pdf) Acesso em: 19 de maio de 2018.
- [11] GODOI, Luis Rodrigo. “A importância da música na Educação Infantil”. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Pedagogia). Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2011.
- [12] MEDINA, Vilma. “Os benefícios da música para as crianças”. 2017. Disponível em: <https://br.guiainfantil.com/educacion-musical/140-os-beneficios-da-musica-para-as-criancas.html> Acesso em: 22 de maio de 2018.
- [13] PIAGET, Jean. 1964. IN: DEBRAWOLHY, Terezinha; SILVA, Ângela Oliveira da; THEODORO, Lizandra Barbosa. “Revista Eletrônica da Faculdade de Direito de Alta Floresta”. Mato Grosso, v. 6, n. 1, p. 97-107, 2017. Disponível em: <http://faflor.com.br/revistas/refaf/index.php/refaf/article/view/241/pdf> Acesso em: 21 de maio de 2018.
- [14] BRASIL. Ministério de Educação e Cultura. LDB - Lei nº 9394/96, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da Educação Nacional. Brasília: MEC, 1996.
- [15] DEBRAWOLHY, Terezinha; SILVA, Ângela Oliveira da; THEODORO, Lizandra Barbosa. “Revista Eletrônica da Faculdade de Direito de Alta Floresta”. Mato Grosso, v. 6, n. 1, p. 97-107, 2017. Disponível em: <http://faflor.com.br/revistas/refaf/index.php/refaf/article/view/241/pdf> Acesso em: 21 de maio de 2018.
- [16] PROCOPIO, Aliny. A importância da musicalidade na educação infantil. “Revista Científica Eletrônica da Pedagogia”. São Paulo, n. 25, p. 1-13, julho de 2015. Disponível em: http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/UiMroVulnnc7Tj8_2015-12-10-15-47-19.pdf Acesso em: 21 de maio de 2018.
- [17] GATTI, Ruana. “A importância da música no desenvolvimento da criança”. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Pedagogia). Faculdade Cnequista de Capivari – FACECAP. Capivari, 2012.
- [18] ANDRADE, Maria Margarida. “Introdução à metodologia do trabalho científico”. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- [19] GIL, Antonio Carlos. “Como elaborar projetos de pesquisa”. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- [20] RUIZ, João Álvaro. “Metodologia científica: guia para eficiência nos estudos”. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

O IMPACTO DA CAFEICULTURA FRENTE AO COMÉRCIO DE IÚNA-ES/ BRASIL

Maycon de Freitas Junger, Sávio Dias de Oliveira, Fernanda Matos de Moura Almeida, Maria das Graças
Gonçalves Vieira Guerra

Maycon de Freitas Junger
Faculdades Unificadas de Iúna – Doctum
Iúna-ES/Brasil
mayconjunger12@hotmail.com

Sávio Dias de Oliveira
Faculdades Unificadas de Iúna – Doctum
Iúna-ES/Brasil
saviodoliveira@outlook.com

Fernanda Matos de Moura Almeida
Faculdades Unificadas de Iúna – Doctum
Iúna-ES/Brasil
fernandamoura15@gmail.com

Maria das Graças Gonçalves Vieira Guerra
Universidade Federal da Paraíba - UFPB
João Pessoa-PB/Brasil
gracinhavieira@yahoo.com.br

Abstract— Considerando a importância econômica da cafeicultura no Brasil e no Espírito Santo, é que se realizou esta pesquisa com o objetivo de verificar a influência da produção cafeeira no comércio do município de Iúna-ES. Além disso, analisar a expectativa dos comerciantes em relação ao período da safra do café, e os pontos positivos e negativos por eles observados, também foram objetivos da pesquisa. Apresentou-se na estrutura bibliográfica da pesquisa, as principais características da cafeicultura no município de Iúna-ES, abordando também parte da história desta cultura no âmbito mundial, nacional e estadual, além da administração rural de forma geral e o desenvolvimento econômico do café no mercado de Iúna-ES. O Estado do Espírito Santo é o segundo maior produtor de café do Brasil, sendo o principal responsável pela economia local. Os métodos utilizados para realização da pesquisa foram descritivo, bibliográfico e de levantamento de dados. O instrumento de coleta de dados usado foi um questionário aplicado a uma amostra de comerciantes localizados no centro do município de Iúna-ES. Os resultados obtidos responderam aos objetivos propostos na pesquisa, tornando-se evidente que a produção cafeeira influencia diretamente no comércio de Iúna-ES, evidenciando que as expectativas dos comércios são alcançadas com um aumento significativo no seu faturamento neste período. Os comerciantes entendem que existe uma relação direta entre a cafeicultura e o comércio, e apontam como principais pontos positivos aumento das vendas, aumento do capital de giro, aumento de clientes, aumento do lucro, giro de produtos e movimentação no comércio. O principal ponto negativo na percepção dos comerciantes, é que no período da safra, devido ao aumento do volume de pessoas nas ruas, aumenta de forma considerável o número de furtos no comércio. De forma geral, a importância do café na economia local foi evidenciada nesta pesquisa.

Keywords— *Comércio, desenvolvimento econômico, produção cafeeira, Iúna-ES.*

I – INTRODUÇÃO

A agricultura desempenha papel fundamental no desenvolvimento do país com o café sendo um dos principais produtos de exportação no Brasil [1]. O café chegou ao Brasil em 1727, iniciando o seu cultivo no Estado do Pará e, dali, se expandiu pelo país, devido às condições favoráveis do solo e clima. Em pouco tempo, o café se tornou uma importante cultura no país, principalmente, nas regiões Sul e Sudeste. A partir do ano de 1816, a exportação do café tomou um impulso, e, no período de 1930 a 1940, tornou-se o mais importante produto de exportação do país [2].

Dados da Associação Brasileira da Indústria do Café [3] apresentam que o consumo interno de café no Brasil em 2017 foi estimado em 21,5 milhões de sacas, que correspondem a aproximadamente 1,07 milhão de toneladas. Com esse volume, o País se destaca como segundo maior consumidor de café em nível mundial, sendo precedido pelos Estados Unidos, que consomem em torno de 25,8 milhões de sacas de café.

A produção de café arábica no Espírito Santo começou no século XIX, estabelecendo-se como importante na economia capixaba a partir de 1850 com o advento da imigração italiana e alemã. A partir de 1920 expandiu-se também para Norte do Rio Doce, ocupando áreas recém-desbravadas da Mata Atlântica. Até o ano de 1962, o café arábica foi o mais importante da economia estadual ocupando mais de 500 mil hectares [4]. Segundo dados do IBGE [5], o café é responsável por uma parte significativa da economia de Iúna-ES.

De acordo com a importância do café para o desenvolvimento nacional e local (município de Iúna/ES), esta pesquisa objetiva, verificar a influência da produção cafeeira no comércio do município de Iúna/ES; conhecer a expectativa dos comerciantes em relação ao faturamento, mediante a safra do café; e, identificar quais os pontos fortes e fracos que a cafeicultura, proporciona no comércio local na concepção dos empresários.

Hipóteses de pesquisa:

H₁: A relação existente entre a produção cafeeira e o comércio de Iúna-ES é direta;

H₂: O principal ponto fraco apontado pelos comerciantes de Iúna-ES em relação à cafeicultura é a ausência de mão de obra no período da safra.

A importância desta pesquisa se relaciona com a situação econômica do município de Iúna-ES considerando que o café é a base da economia e, portanto de forma empírica, entende-se que o período de safra do café movimenta o comércio local. A cultura cafeeira gera emprego, e aumenta a renda do município. Esta pesquisa visa confirmar ou não este cenário, de relação direta entre café e o comércio local e apresentar à sociedade informações científicas a esse respeito.

II – A ATIVIDADE CAFEIEIRA

A produção mundial de café tem apresentado crescimento gradativo, bem como o consumo de café no mundo. No Brasil o cenário não é diferente, crescimento de 42% na produção de café na safra 2016/2017 (51,4 milhões de sacas), se comparada à safra de 2007/2008 que foi de 36,1 milhões de sacas. E as exportações brasileiras do café passaram de 28,4 milhões de sacas para 34,3 milhões, com crescimento de aproximadamente 21%, nesse período [6].

O Espírito Santo é o 2º maior produtor de café no Brasil, com grande produção de café arábica e conilon, respondendo por 22% da produção Brasileira. Existem atualmente 435 mil hectares em produção no Estado, e a atividade cafeeira é responsável por 35% do Produto Interno Bruto (PIB) Agrícola Capixaba [7].

A expansão do café no Espírito Santo foi rápida. Em 1850 já se via a importância do café na economia capixaba. A partir daí surgiram estradas de rodagem, navegação interprovincial, construção de ferrovias e o crescimento das atividades do Porto de Vitória, que contribuíram ainda mais para o desenvolvimento econômico estadual (CCCV, 2018).

Os cafés de montanha do Espírito Santo atualmente ocupam um importante lugar em termos de qualidade de bebida, deixando de ser apenas produtor de bebida rio zona. Hoje, mais de 50% dos cafés arábica do Espírito Santo são de bebida dura para melhor [4].

O café tornou-se a maior riqueza do município de Iúna-ES, no qual foi durante muitos anos o primeiro do estado na produção do café arábica, cultivado desde a época da escravidão. Além de ser o maior gerador de emprego e renda, é também uma vocação cultural do povo. A beleza das floradas e da vegetação, o hábito de tomar um cafezinho para brindar uma visita ou marcar um encontro transforma o café numa cultura maravilhosa de Iúna-ES [9].

III- O CAFÉ E SUA INFLUÊNCIA NA ECONOMIA DO PAÍS

A economia Brasileira fora submetida a ciclos econômicos: encerrados os ciclos do açúcar e do ouro, iniciou-se o ciclo do café, que puxou a economia brasileira da metade do século XIX até, ao ano de 1929. A relevância do café não se restringe somente a um aspecto cultural, como o cafezinho de todo o dia: vai além, transformando a economia agrária em uma economia capitalista à medida que a expansão cafeeira está relacionada de alguma forma à incipiente industrialização. Conforme se intensifica a expansão do café a renda interna da economia se eleva [9].

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [10], o Brasil se tornou o maior produtor e exportador de café, e o segundo maior consumidor do produto no mundo. O café no Brasil se encontra entre os dez principais setores de exportação, estando na 5ª posição. Segundo o Balanço Comercial do Agronegócio, em dezembro de 2016, o produto representou 9,8% das exportações brasileiras, movimentando o montante de US\$ 600,74 milhões.

IV- DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO MUNICÍPIO DE IÚNA-ES

A Economia do município de Iúna-ES é baseada na agricultura, com destaque para café, feijão e milho, na pecuária leiteira e de corte. Mas é o café o influente na economia do município. Devido à diferença climática, o município tem ainda uma capacidade para crescer muito na fruticultura, piscicultura e na floricultura, se destacando na produção de rosas. Além disso, algumas indústrias estão presentes em Iúna-ES como a de utensílios de alumínio, madeira e estofados. Destaca-se ainda a prestação de serviços e o comércio, que atingem cerca de 20% da população economicamente ativa, cerca de 10 mil pessoas [11].

Criou-se em Iúna-ES uma iniciativa chamada *Circuito Serras, Águas e Cafezais*, que reúne renda, desenvolvimento social e sustentável. Essa iniciativa vem sendo intensificada por empreendedores com o propósito de alavancar o desenvolvimento do município. A riqueza das cachoeiras e rios em meio a trilhas e propriedades de café tem alavancado este projeto. O café é um dos maiores tesouros para a vida dos agricultores familiares, responsável por gerar renda para mais de 90% dessas famílias contribuindo para o desenvolvimento econômico de Iúna-ES [12].

De acordo com os resultados do censo agropecuário, os dados apontam que o município de Iúna-ES foi o maior produtor de café arábica do Estado no ano de 2017, com um total de 11.186,169 toneladas. Esse resultado abrangeu um total de 2.141 estabelecimentos. Mesmo com o clima não contribuindo muito nos últimos quatro anos e não sendo a cidade com maior número de propriedades rurais, Iúna conseguiu obter o melhor resultado entre os municípios. O estado do Espírito Santo foi o segundo maior produtor do país, com um total de 113.454,440 toneladas sendo que 10% de toda essa produção originou-se do município de Iúna-ES [11].

V-METODOLOGIA

Esta pesquisa tem como objeto de estudo a relação da cafeicultura com o comércio de Iúna-ES. Classifica-se como pesquisa descritiva, bibliográfica, e de levantamento de dados utilizando um questionário para a coleta dos dados, considerando os ensinamentos de [13], [14], [15].

Um total de 50 questionários foram aplicados em empresas do centro do município de Iúna-ES, somente 03 deles não retornaram respondidos. Desta forma um total de 94% dos questionários foi respondido validando a pesquisa. Os resultados obtidos na coleta de dados foram analisados quantitativamente e qualitativamente para a discussão da pesquisa. Os percentuais de resposta foram calculados utilizando a média aritmética por meio do programa Excel.

VI- RESULTADOS OBTIDOS

Perfil dos respondentes: maioria (63,8%) dos respondentes é do sexo feminino; com idade entre 18 e 30 anos (57,5%); casados (49%); com ensino médio completo (53,2%) e 40,5% concluíram o ensino superior. Um total de 32% dos estabelecimentos comerciais participantes da pesquisa, se dedicam a atividades econômicas diversas: papelarias, telefonia móvel, comércio de cosméticos, escritório de engenharia, laboratório, loja de informática e serviços gráficos, além de 27,7% estar no ramo de confecção.

Em relação ao tempo de atuação dos empresários na atividade comercial atual, os resultados indicam que os comerciantes do Centro de Iúna-ES, em sua maioria têm experiência com o comércio, uma vez que aproximadamente 72% dos respondentes afirmaram que a empresa está no mercado há mais de 06 anos.

Segundo os comerciantes 61,7% dos clientes dos comércios do município de Iúna-ES residem na Zona Urbana e que 38,3% dos clientes residem na Zona Rural.

No que tange à interferência da produção cafeeira na atividade comercial, identificou-se que 87,2% dos comerciantes percebem a interferência da produção cafeeira na sua atividade econômica. Destes 87,2% que responderam que percebem a interferência cafeeira no comércio, foram questionados de que forma essa interferência ocorre e a tabela 01 apresenta as respostas obtidas.

TABELA 01: Formas de interferências da cafeicultura no comércio

Formas de interferências	Porcentagens (%)
Aumento do faturamento da empresa	83% ←
Aumento no quadro de funcionários	12,7%
Aumento do giro de estoque	40,4%

Fonte: Dados coletados na pesquisa

Um resultado muito importante da pesquisa, analisando o seu objetivo geral, é o total de 83% dos respondentes indicarem que a cafeicultura interfere diretamente no comércio local com aumento do faturamento da empresa. Entende-se assim, que a economia e a cafeicultura, no comércio de Iúna-ES, apresentam uma relação diretamente proporcional.

Um total de 40,5% dos comerciantes afirmam que há um aumento mínimo de 40% no seu faturamento no período de safra de café e este aumento, atinge suas expectativas.

A fim de identificar se a colheita de café é ou não a principal responsável pelo aumento o faturamento do comércio de Iúna-ES, foram apresentados outros motivos que podem contribuir de forma positiva com o aumento das vendas, e as respostas obtidas estão apresentadas na tabela 02.

TABELA 02: Períodos de melhores faturamentos para o comércio de Iúna-ES

Períodos	Porcentagens (%)
Colheita de café	63,8% ←
Dia das crianças	6,4%
Dia dos pais	8,5%
Dia dos namorados	8,5%
Festas de fim de ano	55,3% ←
Dia das mães	23,4%
Carnaval	4,2%

Fonte: Dados coletados na pesquisa

Verifica-se que 63,8% dos respondentes alegam que o período de melhor faturamento para suas atividades comerciais é a colheita de café. Assim, torna-se possível a afirmação de que a cafeicultura apresenta importância significativa para o comércio do município de Iúna-ES.

Para identificar se a produção cafeeira tem uma ligação direta com a criação de novos empregos no município de Iúna-ES, questionou-se aos comerciantes se no período de safra é necessário aumentar seu quadro de funcionários para atender a demanda do período. Nessa situação, 19,1% dos comerciantes do município de Iúna-ES disseram que seu quadro de funcionários aumenta no período de safra contratando 01 ou 02 funcionários.

Os comerciantes (87,2%) afirmam que a produção cafeeira contribui de forma significativa para o crescimento de sua atividade comercial.

O gráfico 01 apresenta os resultados da indagação quanto ao principal fator que se destaca na empresa em decorrência da cafeicultura.

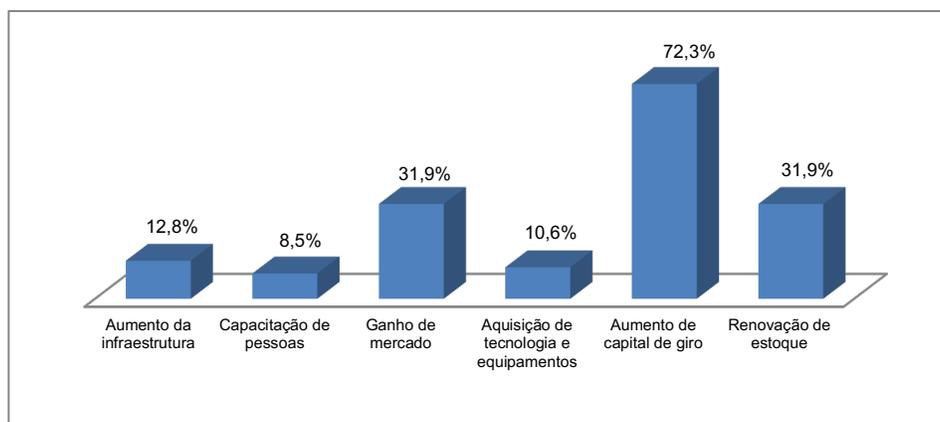


Gráfico 01: Formas de crescimento do comércio em decorrência da produção cafeeira.

Fonte: Dados coletados na pesquisa

O aumento de capital de giro se destacou nesta questão. Os empresários entendem que a cafeicultura proporciona a eles a oportunidade de aumentar o capital de giro devido ao aumento do faturamento neste período.

Como pontos negativos para o comércio no período de safra do café, os comerciantes indicaram o aumento de furtos (75%), falta de mercadorias para atender a demanda daquele período (12,5%) e falta de mão de obra (12,5%).

Como pontos positivos para o comércio no período da safra de café, os comerciantes indicaram: aumento do capital de giro (40%); aumento das vendas (37,5%); aumento de clientes e giro das mercadorias (17,5%); aumento do lucro (15%); aumento de empregos (10%); vendas à vista (5%) e baixa inadimplência (2,5%).

Esses dados são suficientes para comprovar mais uma vez a relação direta da cafeicultura com a economia local.

Por fim, foi questionado aos comerciantes se eles relacionavam o preço do café com a melhoria do comércio, e a tabela 03 apresenta os resultados obtidos:

TABELA 03: Relação do preço do café com a melhoria do comércio

Relação de melhorias	Porcentagens (%)
A melhoria no preço do café impacta diretamente no comércio.	76,6%
Independente do preço do café, o comércio melhora significativamente no período da safra.	6,4%
Mesmo que o preço do café aumente fora do período da safra, impacta de forma positiva no comércio.	17%

Fonte: Dados coletados na pesquisa

E fica claro para os pesquisadores, que o preço do café impacta diretamente no comércio de Iúna-ES com, 76,6% dos participantes confirmando essa informação da pesquisa.

Mais uma vez, pode-se reafirmar a relação direta da cafeicultura com o comércio de Iúna-ES. Entende-se que uma melhoria na econômica cafeeira, gera melhoria no comércio local e o cenário contrário também é verdadeiro devido aos resultados obtidos nesta pesquisa.

VII – CONCLUSÃO

Considerando os objetivos inicialmente propostos, tornou-se evidente por meio desta pesquisa, que a produção cafeeira influencia diretamente no comércio do município de Iúna-ES. Em vários momentos da pesquisa foi possível chegar a essa conclusão de que a relação existente entre a cafeicultura e o comércio de Iúna-ES, é direta.

Quanto à expectativa dos comerciantes em relação ao faturamento, mediante a safra do café, observou-se que os relatos dos participantes demonstram que as suas expectativas são alcançadas com média de aumento de até 40% no seu faturamento.

Alguns pontos positivos foram apontados pelos comerciantes de Iúna-ES, em relação à cafeicultura: aumento das vendas, capital de giro, aumento de clientes, do lucro, giro de produtos e movimentação no comércio. O principal ponto negativo na percepção dos comerciantes, é que no período da safra, aumenta de forma considerável o número de furtos no comércio.

Os resultados obtidos no decorrer do trabalho remetem ao entendimento de que o café tem impacto direto no comércio. Sendo assim, a H_1 da pesquisa foi confirmada, uma vez que a relação existente entre a produção cafeeira e o comércio de Iúna-ES é direta.

A H_2 desta pesquisa, de que o principal ponto fraco apontado pelos comerciantes de Iúna-ES em relação à cafeicultura é a ausência de mão de obra no período da safra, foi rejeitada.

De forma geral, os resultados da pesquisa confirmam a importância do café na economia do município de Iúna-ES.

Esta pesquisa pode ser aplicada em outros municípios para confirmar ou não o cenário de relação da economia local com a cafeicultura.

REFERÊNCIAS

- [1] CREPALDI, Silvio Aparecido. “Contabilidade Rural: Uma abordagem decisoria”. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- [2] OLIVEIRA, Andréa. “História do café, da bebida café e das cafeterias”. 2017. Disponível em: <<https://www.cpt.com.br/cursos-hotelaria/artigos/historia-do-cafe-da-bebida-cafe-e-das-cafeterias>> Acesso em: 20 de março de 2018.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ-ABIC. “Brasil consome 21,5 milhões de sacas de café em 2017”. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31768082/brasil-consome-215-milhoes-de-sacas-de-cafe-em-2017>> Acesso em: 20 de março de 2018.

- [4] CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DO CAFÉ-CETCAF. 2018. “Breve histórico do café arábica no Espírito Santo. 2018”. Disponível em: <http://www.cetcaf.com.br/links/cafeicultura%20capixaba.htm/> Acesso em: 9 de maio de 2018.
- [5] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. “Produto Interno Bruto dos Municípios. 2017”. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/iuna/pesquisa/38/47001/>. Acesso em: 16 de junho de 2018.
- [6] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. “Produção mundial de café cresceu de 124 milhões para 159 milhões de sacas na última década”. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/26234229/producao-mundial-de-cafe-cresceu-de-124-milhoes-para-159-milhoes-de-sacas-na-ultima-decada/> Acesso em: 16 de junho de 2018.
- [7] INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. “Cafeicultura”. 2018. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/cafeicultura.> Acesso em: 1 de maio de 2018.
- [8] RODRIGUES, Onofre Oliveira de Almeida; FERNANDES, Cirlene Vimercate; ALMEIDA, Cláudio Deps. “Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural Proter2011 – 2013”. 2011. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Caparao/Iuna.pdf/>.> Acesso em: 16 de junho de 2018.
- [9] FERREIRA, Márcio. “A Importância do Café na Origem da Economia Brasileira”. 2016. Disponível em: <https://jornalggn.com.br/noticia/a-importancia-do-cafe-na-origem-da-economia-brasileira-por-marcio-ferreira/>.> Acesso em: 16 de junho de 2018.
- [10] MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. “Café no Brasil”. 2017. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira#navigational/>.> Acesso em: 17 de junho de 2018.
- [11] PREFEITURA MUNICIPAL DE IÚNA. “Destaque Espírito-santense: Iúna se torna a cidade nº 1 em produção de café arábica”. 2018. Disponível em: <https://iuna.es.gov.br/noticia/2018/08/destaque-espírito-santense-iuna-se-torna-a-cidade-n-1-em-producao-de-cafe-arabica.html> Acesso em: 01 de outubro de 2018.
- [12] INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. “Serras, Águas e Cafezais contribui com o desenvolvimento de Iúna e Irupi”. 2016. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/Not%C3%ADcia/serras-aguas-e-cafezais-contribui-com-o-desenvolvimento-de-iuna-e-irupi> Acesso em: 01 de outubro de 2018.
- [13] MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. “Técnicas de Pesquisa”. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- [14] OLIVEIRA, Sílvio Luis de. “Tratado de metodologia científica: Projetos de pesquisa, TGI, TCC, Monografias, Dissertações e Teses”. 2. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.
- [15] GIL, Antônio Carlos. “Como Elaborar Projetos de Pesquisa”. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

O USO DAS REDES SOCIAIS COMO FERRAMENTA DE MARKETING NO RAMO MOVELEIRO DE IÚNA-ES/BRASIL

Amanda da Silva Guedes Martins, Kellen Stephanny Silveira Alves, Leonardo de Oliveira Vargas, Ériton Antônio Cezar de Assis, Fernanda Matos de Moura Almeida, Maria das Graças Gonçalves Vieira Guerra

Amanda da Silva Guedes Martins
Faculdades Unificadas de Iúna – Doctum
Iúna-ES/Brasil
amandaguedes3@hotmail.com

Kellen Stephanny Silveira Alves
Faculdades Unificadas de Iúna – Doctum
Iúna-ES/Brasil
kellen_stephanny@hotmail.com

Leonardo de Oliveira Vargas
Faculdades Unificadas de Iúna – Doctum
Iúna-ES/Brasil
leonardooliver@outlook.com

Ériton Antônio Cezar de Assis
Faculdades Unificadas de Iúna – Doctum
Iúna-ES/Brasil
eritonassis@hotmail.com

Fernanda Matos de Moura Almeida
Faculdades Unificadas de Iúna – Doctum
Iúna-ES/Brasil
fernandamoura15@gmail.com

Maria das Graças Gonçalves Vieira Guerra
Universidade Federal da Paraíba - UFPB
João Pessoa-PB/Brasil
gracinhavieira@yahoo.com.br

Abstract— A era digital tem facilitado de forma significativa a vida das pessoas, e isso virou tendência também no comércio. A partir deste cenário, esta pesquisa tem como objetivo identificar o uso das redes sociais como ferramenta de *marketing* digital nas empresas moveleiras do município de Iúna-ES, bem como conhecer o nível de conhecimento dos empresários em relação ao *marketing* digital; e analisar quais as técnicas de *marketing* digital são aplicadas nas empresas. O referencial teórico apresenta o conceito e evolução do marketing em relação às redes sociais como: *Whatsapp*, *Facebook*, *Instagram* e *Twitter*. A metodologia desta pesquisa classifica-se como: descritiva, bibliográfica e de levantamento de dados. Como instrumento de coleta de dados, foram utilizados formulários elaborados e aplicados pelos pesquisadores, aos 11 empresários do ramo moveleiro instalados em Iúna-ES. A respeito das técnicas de marketing digital aplicadas pelas empresas, verificou-se que são empregadas estratégias de *marketing* como: divulgação de produtos e promoções por meio das redes sociais e publicidade, com destaque para o uso do *Facebook* e *Whatsapp*. Identificou-se por meio da pesquisa, que não são todos os empresários que conhecem e utilizam o marketing digital no comércio, mas aqueles que utilizam, entendem que facilita o contato com os clientes. Os resultados obtidos foram satisfatórios pois constatou-se que as redes sociais como ferramenta de *marketing* auxiliam as atividades das empresas que a utilizam.

Keywords— *Marketing, Redes Sociais, Empresas Moveleiras, Iúna-ES.*

I – INTRODUÇÃO

A tecnologia está cada vez mais próxima da vida humana, pessoal, profissional e social impactando e alterando a cultura da sociedade no modo em que está inserida. É natural que esse avanço tecnológico faça vários fenômenos ganharem impulso, um exemplo é o poder dos usuários, que já existem há várias décadas e que foi alavancado com o uso das redes sociais [1].

Com as novas tecnologias e tendências, as pessoas estão cada vez mais conectadas digitalmente, compartilhando ideias, momentos, prazeres e diversões. As redes sociais como *Facebook*, *Instagram*, *Whatsapp*, *Twitter* possibilitam a conectividade entre pessoas de vários países que moram distantes uns dos outros [2].

Para [3], o marketing também vem se alterando com um novo contexto, ideias e forma de atrair consumidores. É importante examinar transformações na passagem do *marketing* tradicional para o digital. Radicalmente a conectividade alterou a maneira de viver das pessoas facilitando o caminho do consumidor na era digital, onde novas métricas e práticas de *marketing* foram adotadas.

Surge o termo *marketing* digital voltado para ações via internet que são adaptadas ao mecanismo digital, visando o aperfeiçoamento do *marketing off-line* para o *marketing on-line* em plataformas que oferecem oportunidades competitivas [4].

De acordo com o aparecimento de novas tecnologias, mais influência a era digital passa a ter no *marketing* tornando essencial descobrir o perfil atual dos consumidores digitais, identificando suas necessidades e desejos [1].

O objetivo geral da pesquisa é: identificar como as empresas moveleiras do município de Iúna-ES utilizam as redes sociais como ferramentas de marketing.

E como objetivos específicos:

- Conhecer o nível de conhecimento dos empresários em relação ao *marketing* digital;
- Analisar quais as técnicas de *marketing* digital são aplicadas nas empresas.

Como hipótese dos resultados desta pesquisa, apresenta-se:

H₁: As redes sociais têm sido muito utilizadas pelos empresários como ferramenta de *marketing*.

H₂: Os empresários do ramo moveleiro de Iúna-ES não utilizam as ferramentas do *marketing* digital.

Considerando o cenário atual, frete à tecnologia e suas facilidades, esta pesquisa se justifica por apresentar aos empresários que ainda não utilizam essas ferramentas, seus benefícios. E os que já utilizam, talvez possam fazer uma avaliação dos resultados obtidos. A exploração das ferramentas de *marketing* digital, podem viabilizar o contato com os clientes e aproximá-los da empresa estreitando o relacionamento e aumentando o consumo.

II – A INTERNET E O MARKETING

Marketing é a arte que unifica todas as atividades de comercialização e satisfação dos consumidores, proporcionando alcançar mercados ou pessoas específicas considerando o meio ambiente em que vivem [5].

A internet surgiu no ano de 1969, nos Estados Unidos da América, criada pela Arpanet, que foi a primeira rede gerada para assegurar as instituições caso houvesse alguma eventualidade nas comunicações. Esta rede privada era designada a ligar os computadores de grandes centros de pesquisas distribuindo as informações entre os cientistas [6].

No ano de 1990, surge um importante e revolucionada forma de fazer *marketing a google*, com grandes portais de conteúdo. As redes sociais trouxeram a oportunidade de compartilhar ideias, interesses e criar laços. As grandes corporações evidenciaram um público que estava se iniciando na internet. O termo *SEO (Search Engine Optimization)* em português significa otimização para mecanismos de busca, ou otimização de *sites*. *SEO* é o conjunto de ações pensadas com o objetivo de maximizar e melhorar o posicionamento de um site nas páginas de resultados naturais (orgânicos) nos sites de busca [7].

As pessoas estão cada vez mais presentes na internet, principalmente nas redes sociais e páginas de buscas como o *google*. As empresas necessitam de evoluir juntamente com esses novos clientes por meio de informações *online* [7].

O rápido crescimento do *marketing* pela internet tende a proporcionar benefícios às pessoas, destacando-se: conforto, agilidade, baixos custos, informações rápidas e precisas [5].

A internet é uma das ferramentas que evoluiu muito ao longo dos anos, possibilitando um novo modelo de negócio, permitindo que as pessoas tenham acesso a várias informações, com um maior poder de barganha. As empresas passaram a concentrar-se nesse novo mercado e passaram a construir novos e estreitos relacionamentos com os clientes [8].

Por meio do *marketing* digital, as organizações podem se relacionar com o consumidor e não apenas chamar sua atenção, pois um bom planejamento estratégico é o fator primordial para obter resultados almejados [9].

III- FERRAMENTA DE MARKETING

Facebook: para [10], não existe suspeitas, o *Facebook* atualmente é a rede social mais utilizada no Brasil. Com mais de 37 milhões de usuários no país, a rede admite o intercâmbio com pessoas e organizações em todo mundo, propagação e compartilhamento de conteúdo e comentários. Mas não é uma rede exclusivamente para o lado social, nas áreas profissionais é explorado pelas empresas e cada vez mais as entendem e utilizam.

De acordo com [11], o *Facebook* é dinâmico e está inteiramente ligado à criatividade e é a rede mais utilizada pelas empresas e pessoas, sendo selecionada por 56% dos profissionais de *marketing* e propaganda. É uma ferramenta que proporciona uma rede de contatos, tanto para fins pessoais e profissionais, oferecendo serviços como: compartilhamento de fotos, vídeos, bate papos e postagens. Disponibilizando opções de ferramentas para divulgação do *marketing* da empresa criando páginas promocionais, grupos e outras ações. O *facebook* tornou-se uma das ferramentas de *marketing online* mais abrangentes, onde as organizações utilizam com frequência.

A estratégia de *marketing* no *Facebook* é indispensável para quem tem a intenção de utilizar a fim de divulgar a empresa. O *marketing* no *Facebook* é predominado por um planejamento aprofundado no gerenciamento e implementação, definindo seus objetivos do uso da rede, como por exemplo: vendas de produtos e serviços [12].

Instagram: segundo [13], progressivamente a população está cada vez mais atenta na internet por meio de um aparelho celular e visam resultados surpreendentes ao navegar nas redes sociais. O *Instagram* foi desenvolvido com o objetivo de restaurar as câmeras fotográficas e de vídeos, com revelação imediata, é um aplicativo que possibilita tirar fotografias, editar as imagens e compartilhar as mesmas na internet gratuitamente, proporcionando ao usuário um acompanhamento das postagens das outras pessoas que utilizam.

Atualmente as empresas estão constantemente sendo dominadas pelas redes sociais, que está tornando-se cada vez mais presente na vida social, econômica e cultural das pessoas. As mídias sociais estão adentradas na cultura digital e invadem de forma elevada o cotidiano do indivíduo e das organizações. O *Instagram* é uma ferramenta capaz de compreender a imagem de uma organização por meio de algumas informações como: parcela de curtidas, comentários, críticas e seguidores que contribuem para que a empresa conheça a sua popularidade [14].

Whatsapp: a evolução tecnológica tem ocorrido de forma ágil, favorecendo a expansão das organizações, proporcionando a conquista de novos espaços no meio empresarial, alterando a maneira na qual a empresa familiariza com os consumidores, assim como, verifica as atitudes de seus usuários [15].

O *Whatsapp* é classificado como uma rede social restrita, onde a comunicação ocorre de forma privada, no qual as empresas utilizam para aproximar-se dos clientes. É uma ferramenta fundamental para publicações de fotos, vídeos, promoções de serviços e produtos sem custo, ocorrendo de forma ágil, para melhor atender as exigências dos consumidores [16].

Twitter: ao longo do tempo o *Twitter* tornou-se para as empresas uma forma bastante simples e extraordinária atraindo novos clientes. É uma ferramenta importante nas redes sociais para adquirir informações úteis [17].

Para [18], o *Twitter* é uma ferramenta de divulgação, um dos seus recursos é a possibilidade de enviar *links* de páginas da internet para divulgações de promoções e lançamentos de produtos.

IV-METODOLOGIA

Como objeto de estudo desta pesquisa, tem-se o *marketing* digital no ramo moveleiro do município de Iúna-ES. Quanto à classificação metodologia, esta pesquisa é descritiva, bibliográfica, e de levantamento de dados considerando os ensinamentos de [19], [20], [21]. Para a coleta dos dados, utilizou-se um formulário aplicado aos empresários do ramo moveleiro que atuam no município de Iúna-ES.

Foram convidados a participar da pesquisa, 11 empresários, e todos responderam o formulário, totalizando 100% de participação. Os formulários foram elaborados pelos pesquisadores e aplicados por meio de visita *in loco*. Depois de aplicados os formulários, todos foram tabulados utilizando a média aritmética.

V- RESULTADOS OBTIDOS

Iniciou-se as perguntas, questionando quanto tempo de atuação os empresários têm no mercado, 63% deles atuam há mais de 10 anos (27% entre 10 e 20 anos e 36% há mais de 20 anos). Um total aproximado de 73% são Sociedade Ltda, e 45% têm mais de 07 funcionários.

Quanto à formação dos empresários na área de administração, ou marketing, os resultados demonstram que 45,45% disseram sim, e 54,55% ainda não. Embora não sejam todos os empresários que têm formação na área de gestão, a maioria deles 90,91% buscam conhecimentos acerca do seu ramo de atividade.

O gráfico 01 apresentado a seguir, demonstra os percentuais de resposta em relação aos tipos de redes sociais em que os entrevistados possuem maior conhecimento:

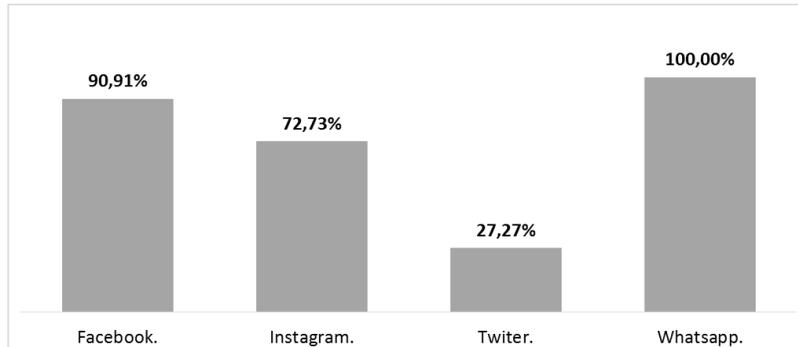


Gráfico 01: Redes sociais em que possuem maior conhecimento

Fonte: Dados obtidos na pesquisa

De acordo com os dados apresentados 100% dos entrevistados possuem conhecimento acerca do *Whatsapp*, seguidos do *Facebook*.

Questionou-se aos empresários, uma vez que demonstraram conhecer as ferramentas apresentadas anteriormente, se eles utilizam as redes sociais para realização de postagens específicas do comércio. E os resultados obtidos foram:

- ✓ 81,28% *Facebook*;
- ✓ 54,55% *Whatsapp*; e,
- ✓ 27,27% *Instagran*.

Analisando os resultados apresentados, nota-se que o *Facebook* é a ferramenta mais utilizada pelos empresários do ramo moveleiro de Iúna-ES.

Conforme as redes sociais citadas anteriormente, buscou-se resposta ainda para o tipo de rede social é mais utilizada pelas empresas. E, embora a maioria dos respondentes tenha citado que tem conta específica do comércio no *facebook*, 90,91% deles, disseram que a rede social mais utilizada pela empresa é o *whatsapp*.

Visando captar o conhecimento dos empresários em relação ao *marketing* digital, foram apresentadas as seguintes estratégias: post orgânicos, *facebook*, grupos, link patrocinado e *messenger*. E os empresários, na maioria (90,91%) conhecem o *facebook*, seguido dos grupos com 54,55% de resposta.

O *facebook* é ainda apontado como sendo a ferramenta que proporciona maior retorno à empresa.

Dentre as estratégias de *marketing*, não somente de *marketing* digital, os empresários demonstraram maior conhecimento a respeito da publicidade, conforme apresenta o gráfico 02.

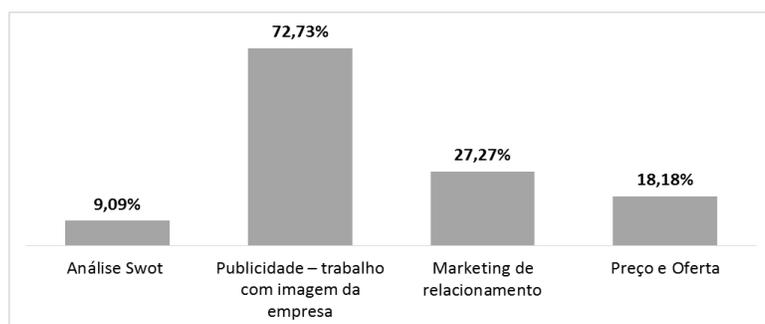


Gráfico 02: Estratégias de marketing utilizadas pelas empresas

Fonte: Dados obtidos na pesquisa

Alguns empresários demonstram utilizar, além da publicidade, também o *marketing* de relacionamento (27,27%).

Foi perguntado aos empresários, com que finalidade realizam postagens nas redes sociais, e o gráfico 03 apresenta em percentuais, as respostas obtidas:

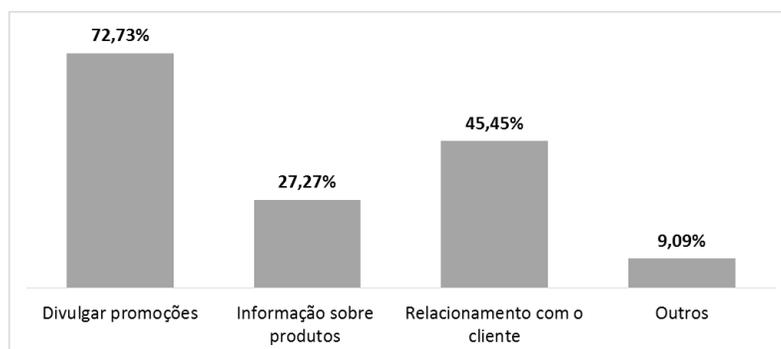


Gráfico 03: Finalidades das postagens realizadas nas redes sociais

Fonte: Dados obtidos na pesquisa

Nota-se que a finalidade principal dos empresários com suas postagens (72,73%), é divulgar as promoções por eles realizadas, seguidas do viabilizar o relacionamento com os clientes (45,45%).

Os dias da semana com maior volume de postagens por parte dos empresários, são segunda (72,73%) e sexta (63,64%).

VI – CONCLUSÃO

Considerando os objetivos inicialmente propostos na pesquisa, entende-se que estes foram respondidos uma vez que os resultados indicam que a maioria dos empresários não tem formação na área de gestão, mas conhecem as principais ferramentas digitais usualmente utilizadas.

A respeito das técnicas de *marketing* digital aplicadas pelas empresas, verificou-se que o *Facebook* e *Whatsapp* foram destacados pelos empresários participantes desta pesquisa.

Além disso, dentre as estratégias de *marketing*, as empresas utilizam muito a publicidade, seguida do *marketing* de relacionamento.

Com base nas hipóteses da pesquisa, a H₁ foi confirmada devido ao fato dos resultados da pesquisa demonstrarem que os empresários utilizam muito as redes sociais como ferramenta de *marketing*. Portanto, a H₂ foi rejeitada.

Percebeu-se de modo geral, que as empresas participantes utilizam as redes sociais como ferramenta de *marketing* digital, visando o crescimento e fortalecimento da organização.

Outras pesquisas podem ainda ser aplicadas em ramos de atividade diversos, a fim de abranger as informações aqui apresentadas.

REFERÊNCIAS

- [1] GABRIEL, Martha. “O Marketing na Era Digital: Conceito Plataforma e Estratégias”. Novatec, 2010.
- [2] MIRA, José Eugênio; BORDONI, Patrícia Soares Baltazar. “Os impactos das redes sociais virtuais nas relações de jovens e adultos”. Publicado em: 09 de maio de 2014. Disponível em: <<http://pgsskroton.com.br/seer/index.php/educ/article/viewFile/1815/1723>>. Acesso em: 23 de maio de 2018.
- [3] KOTLER, Philip; KARAJAYA, Hermawan; SETIAWAN, Iwan. “Marketing 4.0: do tradicional ao digital”. Rio de Janeiro: Sextane, 2017.
- [4] NOGUEIRA, Janaína. “Marketing Digital para pequenas e médias empresas”. Publicado em: 10 de abril de 2014. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/artigos/marketing/marketing-digital-para-pequenas-e-medias-empresas/76699/>>. Acesso em: 21 de maio de 2018.
- [5] LAS CASAS, Alexandre Luzzi. “Administração de Marketing: Conceitos Planejamento e Aplicações à Realidade Brasileira”. 1. ed., São Paulo: Atlas, 2006.
- [6] RODRIGUES, Vinícius. 2018. “A Origem da Internet”. Disponível em: <<https://www.grupoescolar.com/pesquisa/a-origem-da-internet.html>>. Acesso em: 19 de maio de 2018.
- [7] ALBUQUERQUE, Davis Cavalcante. “Marketing Digital: como começou”. Publicado em: 14 de janeiro de 2015. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/artigos/marketing/marketing-digital-como-comecou/84007/>>. Acesso em: 21 de maio de 2018.
- [8] KOTLER, Philip; ARMSTRONG, Gary. “Princípios de Marketing”. Tradução Alerte Simile Marques e Sabrina Cairo. 9. ed., São Paulo: Prentice Hall, 2003.
- [9] CHAMUSCA, Marcelo; CARVALHAL, Márcia. “Comunicação e Marketing digitais: conceitos, práticas, métricas e inovações”. Edições VNI. Salvador, 2011.
- [10] PEREIRA, Felipe. “Aprenda a usar o Facebook como ferramenta de Marketing”. Publicado em: 20 de novembro de 2014. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/artigos/marketing/aprenda-a-usar-o-facebook-como-uma-ferramenta-de-marketing/82815/>>. Acesso em: 05 de junho de 2018.

- [11] NOVAES, Vinícius. “*Facebook*, o preferido”. Revista Marketing. São Paulo: Editora Referência, 2012.
- [12] VALLE, Alberto. “Estratégias de Marketing no *Facebook*”. Publicado em: 05 de maio de 2015. Disponível em: <<https://www.albertovalle.com.br/estrategia-de-marketing-no-facebook/>>. Acesso em: 19 de setembro de 2018.
- [13] ALVES, Francine Gomes; COSTA, Hugo Sampaio; PERINOTTO, André Riani Costa. “*Instagram* como ferramenta para fidelização de clientes: fotografia, redes sociais e turismo”. Publicado em: 12 de dezembro de 2017. Disponível em: <<http://www.spell.org.br/documentos/ver/47884/instagram-como-ferramenta-para-fidelizacao-de-clientes--fotografia--redes-sociais-e-turismo->>. Acesso em: 01 de outubro de 2018.
- [14] ARAGÃO, Fernanda Bôto Paz; FARIAS, Fabíola Gomes; MOTA, Márcio de Oliveira; FREITAS, Ana Augusta Ferreira. “A mídia social digital *Instagram* e o consumo”. Publicado em: janeiro de 2016. Disponível em: <<http://www.spell.org.br/documentos/ver/40212/curtiu--comentou--comprou--a-midia-social-digital-instagram-e-o-consumo>>. Acesso em: 01 de outubro de 2018.
- I. [15] FERREIRA, Naiara Silva; FILHO, Emilio Jose Montero Arruda. “*Facebook e Whatsapp*: uma análise das preferências de uso”. Publicado em: setembro de 2015. Disponível em: <<http://www.spell.org.br/documentos/ver/38069/facebook-e-whatsapp--uma-analise-das-preferencias-de-uso->>. Acesso em: 01 de outubro de 2018.
- [16] VALLE, Alberto. “*Whatsapp* como Ferramenta de Marketing”. Publicado em: novembro de 2016. Disponível em: <<https://www.academiadomarketing.com.br/whatsapp-como-ferramenta-de-marketing-digital/>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.
- [17] TELLES, André. “A Revolução das mídias sociais: cases conceitos, dicas e ferramentas”. São Paulo- SP: Editora M. Books do Brasil Editora Ltda. 2010.
- [18] GONÇALVES, Vinicius. “Como usar o *Twitter* como ferramenta de divulgação”. Publicado em 17 de novembro de 2011.
Disponível em: <<http://www.novonegocio.com.br/marketing/como-usar-o-twitter-como-ferramenta-de-divulgacao/>>. Acesso em: 15 de junho de 2018.
- [19] GIL, Antônio Carlos. “Como Elaborar Projetos de Pesquisa”. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- [20] OLIVEIRA, Silvio Luis de. “Tratado de Metodologia Científica: projetos de pesquisas, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses”. 2. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 1999. 4 reimp. 2002.
- [21] MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos de Metodologia Científica. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

PRÁTICAS DE LEITURA DESENVOLVIDAS EM UMA CRECHE NO INTERIOR DO ESPÍRITO SANTO/BRASIL

Amanda Freitas de Castro, Laurides Pimentel Henrique, Simone Mendes Alves, Júnia Moreira de Freitas, Fernanda Matos de Moura Almeida, Maria das Graças Gonçalves Vieira Guerra

Amanda Freitas de Castro
Faculdades Unificadas de Iúna – Doctum
 Iúna-ES/Brasil
mands.tmsi@gmail.com

Laurides Pimentel Henrique
Faculdades Unificadas de Iúna – Doctum
 Iúna-ES/Brasil
lauridespimentel30@gmail.com

Simone Mendes Alves
Faculdades Unificadas de Iúna – Doctum
 Iúna-ES/Brasil
simonemendess85@gmail.com

Júnia Moreira de Freitas
Faculdades Unificadas de Iúna – Doctum
 Iúna-ES/Brasil
juniamoreiradefreitas@yahoo.com.br

Fernanda Matos de Moura Almeida
Faculdades Unificadas de Iúna – Doctum
 Iúna-ES/Brasil
fernandamoura15@gmail.com

Maria das Graças Gonçalves Vieira Guerra
Universidade Federal da Paraíba - UFPB
 João Pessoa-PB/Brasil
gracinhavieira@yahoo.com.br

Abstract— Partindo do entendimento de que a leitura é estimulada e influenciada por alguém, e tem relevância significa no desenvolvimento das crianças, a presente pesquisa tem como objetivo geral identificar as práticas utilizadas pelas professoras do Centro de Educação Infantil Professora Maria da Penha Amorim Souza para desenvolver nos alunos o gosto pela leitura. E de maneira específica, identificar quais são os interesses dos mesmos pela leitura. Reafirmando a importância da leitura, no decorrer da pesquisa, foram abordados tópicos como: leitura na escola; a escola e o tratamento da leitura; e, a interferência dos fatores sociais na leitura. Quanto à metodologia utilizada a pesquisa classifica-se como descritiva, bibliográfica e de levantamento de dados. Um questionário foi utilizado como instrumento de coleta de dados e aplicado aos docentes que atuam neste CEI. Os resultados obtidos apontam que todos os alunos do CEI possuem interesse pela leitura; a maioria das famílias auxilia e interage no processo de leitura através das atividades extraescolares; a maioria das docentes pontua que a prática mais utilizada para desenvolvimento da leitura é a contação de história; a maioria dos alunos tem preferência pela maleta viajante e pelo cantinho da leitura como atividade de leitura. Concluiu-se que a prática mais utilizada pelas professoras do CEI para desenvolver e despertar nos seus alunos o hábito pela leitura é a contação de história, e que as famílias auxiliam e interagem no processo de leitura por meio das atividades extraescolares. Os alunos gostam de leitura, maleta viajante e o cantinho da leitura são as atividades de preferência das crianças. A leitura é importante e essencial para a existência humana, pois, contribui para o desenvolvimento social e auxilia na formação do senso-crítico tornando os cidadãos capazes de compreender e transformar o mundo.

Keywords— *Hábito, Leitura, Educação Infantil, Iúna-ES.*

I – INTRODUÇÃO

Ler significa buscar novos conhecimentos e questionar para encontrar novas respostas através da escrita. O leitor precisa buscar o que lhe chama atenção para um novo mundo [1].

Tudo que a criança aprende na escola está relacionado com a leitura, é através dela que acontece o desenvolvimento [2]. O docente deve inovar suas atividades, assim, os alunos passam a conhecer e obter o gosto pela leitura de acordo com a necessidade de cada um [3].

De acordo com [4], a leitura do mundo ocorre antes da criança ser alfabetizada, pois quando ela vê algo e não sabe ler, acontece a leitura das figuras e símbolos, a partir daí, as palavras darão sequência ao mundo da leitura.

O professor precisa sempre buscar métodos para motivar seus educandos a acessarem livros na sala de aula, ou seja, a criança precisa ser despertada para o mundo imaginário [5].

Nenhuma pessoa torna-se leitor por ação de rebeldia, ninguém nasce amando leitura. A influência da maioridade como marca é muito importante na medida em que são vistos lendo ou escrevendo [6].

Neste contexto, o objetivo geral do trabalho é identificar as práticas utilizadas pelos professores do Centro de Educação Infantil Professora Maria da Penha Amorim Souza, para desenvolver nos seus alunos o gosto pela leitura. E especificamente, objetiva fazer um diagnóstico com as crianças de 5 anos de idade a respeito do interesse dessas pela leitura.

De acordo com os objetivos propostos, seguem as hipóteses:

H₁: A maioria dos professores do CEI Professora Maria da Penha Souza Amorim utiliza a contação de histórias como uma prática para despertar o gosto pela leitura;

H₂: Alguns professores não incentivam o gosto pela leitura.

Os resultados desta pesquisa poderão despertar nos educadores, o interesse maior por incentivar seus alunos a gostarem de leitura. Devido à importância da leitura, entende-se que esta pode transformar o meio no qual as pessoas estão inseridas interagindo no meio social e adquirindo aptidão para questionamentos e críticas. Logo, é importante que os professores tenham a consciência do seu papel enquanto agentes para apresentar aos seus alunos a leitura.

II – LEITURA NA ESCOLA

A leitura é um importante passo para criação de conhecimentos porque proporciona a construção de princípios e atitudes, dissemina educação, e permite a prática de compreensão do indivíduo que lê temas grandiosos de exercer o intelecto [7].

A leitura é essencial para o processo de aprendizagem e precisa fazer parte do cotidiano das crianças. Cabe ao professor utilizar recursos apropriados para dar sentido e auxiliar na formação de leitores competentes [8].

Todo tempo é tempo de aprender dentro da escola. A criança não aprende apenas quando está fazendo atividades, muitas vezes, nomeadas de pedagógicas. Tudo que se realiza na escola é educacional. Ao mesmo tempo as atividades voltadas ao cuidar, as práticas sociais que o dia a dia na escola oferta às crianças são ótimas oportunidades de desenvolvimento de aprendizagem [9].

Os autores [10] ressaltam que cabe ao professor, o encargo de trazer os alunos para a prática da leitura, diferenciadamente, mostrando por meio da criatividade e expressividade o seu valor. Motivar o desejo pela leitura a fim de torná-la agradável exigirá do educador inteligência e autenticidade ao fazê-lo com encantamento e dedicação. No momento que o livro possibilita a criança reinventar personagens da história, a obra se torna uma brincadeira, a diversão acontece em todos os momentos.

O momento do brincar faz parte da vida da criança no qual ela desenvolve as suas habilidades, interagindo com o meio que está inserida. Por intermédio do livro a criança pode criar, recriar e compartilhar momentos imaginários com outras pessoas [11].

De acordo com a Base Nacional Comum Curricular, na educação infantil, a função do professor é pensar, escolher, elaborar, interferir e inspecionar o conjunto de recursos e ações, assegurando a diversidade de acontecimentos para promover o desenvolvimento dos educandos [12].

O educador não pode limitar as crianças a conhecer somente os livros de literatura infantil, pois as crianças são muito espertas, sabem associar as informações que já se tem com os novos conhecimentos, são capazes de entender os textos informativos. O indivíduo lê para adquirir conhecimentos específicos, para obter novas informações ou para encontrar respostas [9]. A prática a qual se executa com os livros e outros materiais escritos é condição importante para a aprendizagem na qual se desperta o interesse pelos livros [13].

Se os livros estiverem empilhados em local fora do alcance da criança, não tem como a mesma gostar de ler, pois para a leitura ter sentido a criança precisa manusear os livros para sentir prazer em apreciar uma boa história. Os livros estão sendo ignorados pelas crianças, pois elas estão passando a maior parte do tempo envolvida com equipamentos tecnológicos [14].

Ler requer uma prática sucinta e essencial para o conhecimento. Nada pode substituir a leitura, ainda que não se tenham variedades de recursos tecnológicos e audiovisuais [15].

Uma das condições imprescindíveis para a escola incentivar a prática da leitura na sala de aula é ter local que possibilite a criança interagir com os livros, dando sentido à obra. É normal crianças pequenas não terem tanto entusiasmo pelos livros. No entanto, quando ela é incentivada, se desperta para o mundo das descobertas. Quando uma criança escuta uma história adquire conhecimento de forma agradável, mesmo que ela não consiga compreender o sentido real do texto [16].

A leitura é valorosa para despertar as emoções, sentimentos e imaginações [17]. Conforme [2] a maneira que se lê um texto deve ser modificada de acordo com exigências textuais, as crianças precisam aprender essas diferenças para executar a leitura do conteúdo respeitando as diversificações do material lido.

III- A ESCOLA E O TRATAMENTO DA LEITURA

A leitura faz parte da rotina, lê-se para aumentar os limites do próprio conhecimento, para conseguir informações simples e complexas que começa fora da escola e continua dentro dela. Ler é tornar a escrita em fala, é decifrar mensagens, é comunicar-se, é compreender e interpretar [18].

Quando observa uma pessoa lendo com facilidade tem-se a percepção de que leitura é algo fácil de aprender, mas para as crianças é uma tarefa complicada de se realizar [2]. Para [19], a prática de ler é um processo ativo, pois não é só aprender o seu conceito, mas também trazer nosso conhecimento e nosso olhar de mundo como leitor. Ao projetar o ato de ler, como um processo ativo, está se formando um leitor crítico e criativo.

Um método pedagógico surpreendente para o trabalho de construção de leitores, e a leitura colaborativa, uma ação em que o docente lê um texto com a sala, e no decorrer da leitura, investiga os discursos sobre os vestígios de linguagem que proporcionam a clareza dos sentidos. A leitura tem se tornado basicamente um instrumento de ensino. Para a criação de aprendizagem é fundamental que passe significado para o educando, isso é prática de leitura [13].

Além dos métodos didáticos dos professores com prática de leitura, é fundamental destacar que um aspecto muito interessante na formação de um bom leitor é a importância da família neste processo sabendo que quando lê sem um propósito definido, tem-se a dar pouco destaque ao que está lendo, passando os olhos por cima cumprindo apenas o papel leitor [20].

IV - A INTERFERÊNCIA DOS FATORES SOCIAIS NA LEITURA

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais de Língua Portuguesa, é crucial vencer alguns princípios sobre o conhecimento inaugural da leitura. O fundamental delas é a de que ler é apenas ler, transformar letras em sons tornando-se o entendimento fruto da própria ação. Por esse ponto de vista errado, a escola vem formando extensa parte de leitores aptos a ler qualquer texto, mas com grandes impedimentos para entender o que tentam ler [13].

Quando a criança desde o nascimento é despertada para o mundo da leitura, é mais preparada para a vida na sociedade. Ao se deparar com os desafios da leitura e da escrita, consegue se desenvolver com mais destreza, e o acompanhamento dos pais neste processo é fundamental [14].

A leitura quando não é estimulada no ambiente familiar, acaba sendo vista como algo que não é de interesse do indivíduo, já que acontece apenas em lugar rígido e de forma obrigatória. No entanto, se o estímulo acontecer no ambiente informal, principalmente no lar, é provável que o leitor tenha facilidade na compreensão de textos. Quando a leitura sensorial é desenvolvida no ambiente informal, neste caso no lar, a criança começa a se interessar pela leitura e dessa maneira, seus outros níveis (emocional e racional) também são desenvolvidos [21].

A escola precisa proporcionar práticas nas quais os professores consigam se expressar e escutar, para estimular a criança a participar da cultura social. Dessa maneira, ao ouvir histórias nas rodas de diálogos, narração individual ou em equipe a criança desenvolve o vocabulário, participando como um ser ativo da sociedade [12].

A roda de leitura é importante para o desenvolvimento da criança, essa atividade realizada diariamente, serve como incentivo para os pequenos terem contato com os livros [9]. De acordo com as Diretrizes Nacionais para Educação Infantil [22] o currículo deve conter conteúdos que possibilitem aos alunos, experiências de narrar, apreciar e interagir com a escrita e a fala, e conviver com as diversas estruturas e especificidades textuais.

O objetivo fundamental da escola é desenvolver a leitura para que o aluno se saia bem em todas as disciplinas, pois sendo um bom leitor, a escola cumpriu em parte a sua tarefa. O autor define que a leitura deve ser a extensão da escola na vida das pessoas [2].

A leitura, como realidade comunitária é permanentemente um meio, jamais um fim. Ler é retorno a um propósito, a uma utilidade particular [13].

IV-METODOLOGIA

O objeto de estudo desta pesquisa, são as práticas pedagógicas para desenvolvimento da leitura na educação infantil. Pesquisa descritiva, bibliográfica, e de levantamento de dados é a classificação metodológica de acordo com [23], [24], [25]. Um questionário foi elaborado e aplicado pelas pesquisadoras, aos professores atuantes no Centro de Educação Infantil Professora Maria da Penha Amorim Souza do município de Iúna-ES.

Todos os professores da Creche foram convidados a participar da pesquisa e aceitaram o convite, totalizando 08 respondentes. Depois de aplicados os questionários, todos foram tabulados utilizando a média aritmética.

V- RESULTADOS OBTIDOS

Perfil dos respondentes: 100% dos respondentes é do sexo feminino; com idade acima de 31 anos (65%); 75% possuem curso de pós graduação; e 62,5% dos professores afirmam que gostam muito de ler.

Visando saber como os professores trabalham a leitura em sala de aula, questionou-se que tipos de atividades direcionadas à leitura eles realizam. Os resultados são apresentados no gráfico 01:

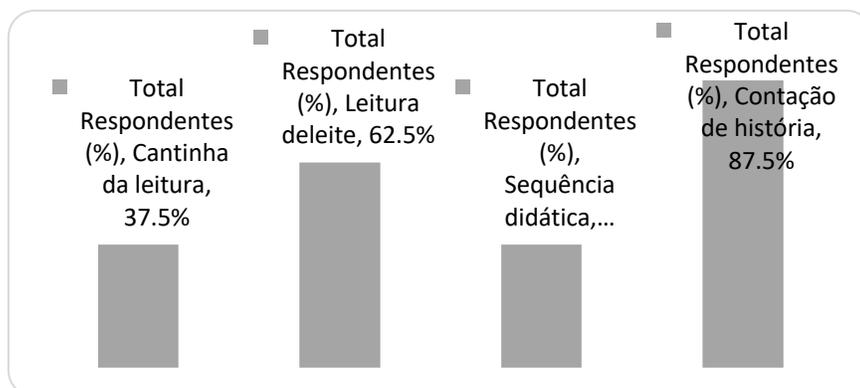


Gráfico 01: Tipos de atividades voltadas para a leitura trabalhada em sala de aula.

Fonte: Dados obtidos na pesquisa

Observa-se que a maioria das entrevistadas (87,5%) trabalha com contação de história, 62,5% leitura deleite, 37,5% cantinho da leitura e 37,5% sequência didática.

Os dados obtidos em relação ao interesse dos alunos pela leitura é considerado alto, pois 100% dos professores responderam que os alunos demonstram interesse em participar de todos os momentos de leitura. Todos os professores (100%) entendem que a leitura facilita a compreensão do conhecimento, e que é a base para a construção do conhecimento.

A tabela 02 mostra os dados obtidos, quando foi perguntado sobre a participação ativa da família no processo da leitura.

Tabela 02: Você percebe que a família auxilia/interage nesse processo de leitura extra escolar?

Opções Avaliadas	%
A família auxilia, mas às vezes deixa a desejar	87,5%
A família sempre auxilia	12,5%
Total	100%

Fonte: Dados obtidos na pesquisa.

Observa-se na tabela 02, que 87,5% das professoras responderam que a família auxilia a criança a desenvolver as atividades de leitura, mas às vezes deixam a desejar e 12,50% afirmaram que a família sempre auxilia as crianças.

A família tem grande importância no processo da leitura da criança, pois tal contato antecede aos contatos vivenciados na creche, através de histórias, ilustrações e outras fontes que permite entrar no mundo dos livros, além do mais, os conhecimentos adquiridos no ambiente familiar são levados na maioria das vezes para toda a vida [24].

Os estímulos dos pais e a convivência com materiais de leitura no ambiente familiar permitem que as crianças desenvolvam o gosto pela leitura, sintam-se motivados, curiosos e interessados a desvendar o vasto universo do mundo dos livros.

Para identificar a preferência das crianças em relação à leitura, a pesquisa mostrou que 62,50% dos alunos preferem a maleta viajante, 62,50% cantinho de leitura e 12,50% leitura deleite.

VI – CONCLUSÃO

Por meio dos dados obtidos nesta pesquisa, constatou-se que todos os alunos possuem grande interesse pela leitura; a maioria das famílias auxilia e interage no processo de leitura através das atividades extraescolares; a maioria das docentes pontua que a prática mais utilizada para desenvolvimento da leitura é a contação de história; e a maioria dos alunos tem preferência pela maleta viajante e pelo cantinho da leitura como atividade de leitura.

Em relação às hipóteses apresentadas inicialmente, a H_1 foi confirmada uma vez que a maioria das professoras do CEI Professora Maria da Penha Souza Amorim utiliza a contação de histórias para desenvolver o hábito de leitura nos alunos. E além disso, o cantinho de leitura e a mala viajante são utilizadas como prática para despertar o gosto pela leitura.

Logo, H_2 de que alguns professores não incentivam a prática e prazer pela leitura, foi rejeitada.

Sugere-se que novas pesquisas sejam realizadas em outras escolas e que os dados sejam divulgados para que todos despertem para a importância da leitura.

REFERÊNCIAS

- [1] FOUCAMBERT, Jean. “A leitura em questão”. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.
- [2] CAGLIARI, Luiz Carlos. “Alfabetização e Linguística”. 10. ed. São Paulo: Scipione, 2006.
- [3] SOUZA, Renata Junqueira de. “Leitura do professor, leitura do aluno: processos de formação continuada”. UNESP, 2004– Presidente Prudente. Disponível em: <http://www.unesp.br> Acesso em: 12 de março de 2018.
- [4] FREIRE, Paulo. “A importância do ato de ler em três artigos que se completam”. 23. ed. São Paulo: Cortez, 1989.
- [5] BAMBERGER, Richard. “Como incentivar o hábito da leitura”. Tradução de Octávio Mendes Cajado. São Paulo: Cultrix, 1997 apud ZEIDAN, Ana Barbara Bueno. A importância da leitura no 2º ano do ensino fundamental, Uni Salesiano. São Paulo, 2012.
- [6] KRIEGL, Maria do Lourdes de Souza. Leitura: um desafio sempre atual. “Revista PEC”, Curitiba, 2002 apud GONÇALVES, Debora Souza Neves. Importância da leitura nos anos iniciais escolares. UERJ – 2013, São

Gonçalves. Disponível em: <http://www.ffp.uerj.br/arquivos/dedu/monografias/dsng.pdf> Acesso em: 01 de maio de 2018.

[7] CARLETI, Rosilene Callegari. “A Leitura: um desafio atual na busca de uma educação globalizada”. ES, 2007. apud GONÇALVES, Débora Souza Neves. Importância da leitura nos anos iniciais escolares. UERJ – 2013. São Gonçalves. Disponível em: <http://www.ffp.uerj.br/arquivos/dedu/monografias/dsng.pdf> Acesso em: 01 de maio de 2018.

[8] CASSIANO. Adriana Aparecida. “O prazer de ler: o incentivo da leitura na educação infantil”. Universidade Estadual de Londrina 2009. Disponível em:
<http://www.uel.br/ceca/pedagogia/pages/arquivos/ADRIANA%20APARECIDA%20CASSIANO.pdf>

Acesso em: 05 de maio de 2018.

[9] FONSECA, Edi. “Interações: Com olhos de ler, apontamentos sobre a leitura a prática do professor da educação infantil”. 1. Reimp. São Paulo, 2012.

[10] GRAZIOLI, Fabiano T.; COENGA, Rosemar E. “Literatura Infante juvenil e leitura: novas dimensões e configurações”. 1. ed. Erechim: Habilis, 2014.

[11] PARREIRAS, Ninfas. “Do ventre ao colo, do som a literatura: livros para bebês e crianças”. 1. ed. Belo Horizonte: RHJ, 2012.

[12] BRASIL, Ministério da Educação. Governo Federal. “Base Nacional Curricular Comum: BNCC”- Brasília, 2017. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/bncc-20dez-site.pdf>. Acesso em: 09 de setembro de 2018.

[13] BRASIL, Secretaria de Educação Fundamental. “Parâmetros Curriculares Nacionais: Língua Portuguesa”. Brasília: MEC/SEF, 2000.

[14] CLARET. Fabiane Guilherme Rosa. “A importância da leitura nos anos iniciais do ensino fundamental”. Medianeira, 2013. Disponível em:
http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4465/1/MD_EDUMTE_2014_2_105.pdf. Acesso em: 24 de maio de 2018.

[15] ABRAMOVICH, Fanny. “Literatura infantil: gostosuras e bobices”. Scipione, São Paulo: Scipione, 2012.

[16] MOREIRA, Ilda Susana Pereira Moreira. “Motivação para a leitura”. 2014. Escola Superior de Educação de Santa Maria- ISPGAYA. Disponível em:
https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/6477/1/RELATORIO_ildamoreira.pdf Acesso em: 01 de maio de 2018.

[17] JESTIN, Maria Elisete Mesquita. “A importância da literatura infantil para despertar o gosto pela leitura na educação infantil”. UFRGS- 2010. Porto Alegre. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/71994>. Acesso em: 01 de maio de 2018.

[18] LUCYK, Pedro. “Projeto Marista de Leitura Diária”. 1. ed. São Paulo, 2003.

[19] PILETTI, Claudino. “Didático Especial”. 10. ed. São Paulo: Ática 2000.

[20] YUNES, Eliana. “A leitura e formação do leitor: questões culturais pedagógicas”. 1. Ed. Rio de Janeiro: Antares, 1985.

[21] VIEIRA, L. A. “Formação do leitor: a família em questão”. In: Seminário Biblioteca Escolar, III, 2004, Belo Horizonte. III Seminário Biblioteca Escolar: espaço de ação pedagógica, Belo Horizonte: Escola de Ciência da

Informação da UFMG, 2004. Disponível em: <http://gebe.eci.ufmg.br/downloads/308.pdf> Acesso em: 09 de maio de 2018.

[22] BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. “Diretrizes curriculares nacionais para a educação infantil”. Secretaria de Educação Básica. Brasília: MEC, SEB, 2010.

[23] ANDRADE, Maria Margarida de. “Introdução à metodologia do trabalho científico”. 6. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2003.

[24] GIL, Antônio Carlos. “Como elaborar projetos de pesquisa”. 4. ed - reimp. São Paulo: Atlas, 2007.

[25] LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Maria de Andrade. “Fundamental da Metodologia Científico”. 5. ed. São Paulo. Atlas, 2003.

Análise dos fatores que influenciam a velocidade de desenvolvimento de novos produtos

Renata de Oliveira Mota, Moacir Godinho Filho

Renata de Oliveira Mota
dept. Engenharia de Produção
Universidade Federal de São
Carlos
São Carlos, Brasil
renatamota@live.com

Moacir Godinho Filho
dept. Engenharia de Produção
Universidade Federal de São
Carlos
São Carlos, Brasil
moacir@dep.ufscar.br

Resumo — O objetivo deste estudo é fornecer uma investigação ampla e atualizada dos fatores apontados na literatura como facilitadores da velocidade no desenvolvimento de novos produtos. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, onde se acumulou e integrou os resultados obtidos nas últimas duas décadas sobre a relação entre tempo NPD e facilitadores de velocidade com o intuito de avançar na teoria sobre esses tópicos. Assim, a pesquisa apresenta uma amostra de 88 publicações, onde foram identificados 19 facilitadores, agrupados em 5 grupos que, segundo a literatura, possibilitam acelerar o NPD. Este resultado possibilita delinear maneiras pelas quais os gestores podem aplicar técnicas específicas para promover a inovação rápida. E a partir do cruzamento das propostas de trabalhos futuros e o objetivo dos artigos presentes na amostra, foi possível estruturar uma agenda de pesquisa contendo as possíveis lacunas que ainda apresentam potencial de investigação neste tema.

Palavras-chave — desenvolvimento de novos produtos, facilitadores, revisão sistemática da literatura.

I. INTRODUÇÃO

Embora reconhecida a importância de acelerar o desenvolvimento de novos produtos para obter ganhos internos e de mercado [1,2,3], há dificuldades por parte dos gerentes em identificar quais práticas devem ser priorizadas nesse processo [4] e como sua implementação deve ocorrer [5]. Além disso, a compressão do tempo pode inferir em diferentes resultados dependendo do contexto em que a empresa está inserida, ou seja, varia de acordo com as características organizacionais e ambientais [6].

Tentativas anteriores de sintetizar esse conhecimento podem ser encontradas, no entanto, apresentam lacunas que visam ser supridas pelo presente estudo. [9] procuraram identificar as razões para o atraso no desenvolvimento de produtos nas indústrias de computadores. Porém, os autores apontam apenas um fator para impulsionar esse tempo, que consiste em uma estratégia de qualidade através da aplicação do QFD. Uma década depois, podem ser encontradas as contribuições de [2], que fazem contribuições importantes para os antecedentes da velocidade no desenvolvimento de novos produtos (NPD) através de uma meta-análise. Embora este seja o artigo que mais aproximou o objetivo do presente estudo, os

autores fizeram a análise apenas em estudos empíricos e carece de atualização. Já o estudo mais recente que procurou sintetizar o conhecimento sobre o desempenho do NPD é uma meta análise realizada por [3]. No entanto, esses autores avaliam esse desempenho sob a perspectiva exclusiva de integração com os clientes.

Para fornecer *insights* para gestores e acadêmicos sobre este tema, uma variedade de fatores foi conceitualmente integrada, o que será referido aqui como facilitadores da velocidade. Entende-se que esses facilitadores são métodos de gerenciamento e/ou atributos de projeto capazes de interferir no tempo de desenvolvimento de novos produtos [7]. Uma revisão sistemática da literatura (RSL) busca acumular os resultados da pesquisa atual para ajudar a obter uma melhor compreensão do fenômeno e identificar direções para pesquisas futuras para aumentar essa compreensão [2,8]. Portanto, este estudo integra os resultados de 88 artigos sobre a relação entre tempo NPD e facilitadores de velocidade para avançar na teoria sobre esses tópicos, além de unir os conhecimentos encontrados nos artigos selecionados para gerar uma agenda de pesquisa que poderá motivar os acadêmicos a desenvolverem estudos que mitiguem as lacunas nesta área de investigação.

II. MÉTODO DE PESQUISA

O método utilizado foi apresentado por [10]. Esses autores sugerem que a revisão seja desenvolvida em três fases: planejamento, condução e relato/ disseminação. A RSL começou com a fase de planejamento, na qual as questões de pesquisa e os critérios de inclusão e exclusão devem ser determinados. Esta revisão foi orientada por três questões de pesquisa, são elas: RQ1: Quais são os facilitadores de oportunidade indicados na literatura que interferem no tempo do NPD? RQ2: Quais as principais lacunas nesta temática apontadas na literatura com potencial de investigação?

Alguns critérios foram estabelecidos para inclusão e exclusão de pesquisas nesta revisão sistemática. A análise incluiu apenas documentos em formato de artigo, publicados em periódicos revisados por pares. Estudos que investigaram o desempenho do tempo em outras áreas foram excluídos, como na fabricação, atividades de escritório e cadeias de suprimentos.

O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Brasil) financiou bolsas de pesquisa para os autores deste estudo.

Para conduzir o SLR, as bases de dados utilizadas foram Web of Science e Scopus, pois apresentam ampla cobertura de assuntos científicos e possuem ferramentas de aprimoramento efetivo de busca [11]. A escolha das palavras-chave e *strings* aplicadas nessas bases de dados parte da definição do objeto de estudo. Esta revisão buscou estudos que unissem três grandes temas de pesquisa: (“competição baseada no tempo*”), (“desenvolvimento de novos produtos*”), (“inovação*”). Devido à notável usabilidade dos autores da “competição baseada no tempo”, as palavras-chave (“tempo*”), (“agilidade*”) e (“velocidade*”) também foram usadas nas combinações.

Como não houve recorte temporal, os artigos adicionados vão desde a publicação mais antiga em bases de dados sobre estes temas (1992) até 2017. Ao pesquisar as *strings* nas bases de dados, foram identificados 757 artigos, os quais passaram por um procedimento de filtragem com as diretrizes propostas por [12], o método PRISMA. Com o auxílio do *software* StArt, o primeiro filtro (rastreamento) aplicado foi a leitura sistemática de títulos e resumos, que excluiu 119 artigos. O segundo filtro (elegibilidade) consistiu na leitura completa dos documentos, que excluiu mais 135 documentos. Este procedimento resultou em 88 artigos selecionados para a análise final.

Concluído o estágio de Condução, 88 artigos foram selecionados para o estágio de Relato/ disseminação. Nessa etapa, foi realizada uma análise descritiva dos artigos e os principais resultados encontrados na revisão foram relatados. Para sistematizar essa análise, os artigos foram avaliados a partir de parâmetros pré-estabelecidos, são eles: (1) setor industrial; (2) país; (3) ano; (4) método de pesquisa; e (5) facilitadores de velocidade.

Para estruturação destes parâmetros, uma análise de conteúdo foi desenvolvida com a ajuda do software Nvivo. Na análise identificou-se trechos do texto que apontavam exemplos de ações que poderiam influenciar o tempo do NPD, os facilitadores da velocidade. Por exemplo, o seguinte trecho foi extraído de [13]: “... equipes diversas diminuem o tempo de desenvolvimento aumentando a congruência de metas entre os grupos funcionais, trazendo mais potencial criativo para a solução de problemas e garantindo a disponibilidade de insumos cruciais”. Assim, o trecho foi associado a um facilitador (“equipe multifuncional”). Como resultado desse processo, todos os facilitadores deste estudo foram identificados.

III. CLASSIFICAÇÃO E REVISÃO DA LITERATURA

Os artigos selecionados podem ser analisados de acordo com dois grupos de características: os aspectos gerais e os facilitadores de velocidade.

A. Aspectos gerais

A evolução deste tópico ao longo dos anos começa em 1992, com um estudo de caso sobre elementos que afetam o *lead time* de introdução e como os clientes e fatores técnicos influenciam este tempo, e tem crescido progressivamente com a aplicação de diferentes métodos, sendo a *survey* o método de pesquisa mais utilizado (66%). Em segundo lugar, está o estudo de caso com 15%, seguido de estudos conceituais (8%),

experimentos (6%), revisão de literatura (4%) e pesquisa-ação (1%).

Essa seleção de artigos indicou que o tema foco deste estudo atraiu o interesse de pesquisadores de todo o mundo, uma vez que foram identificados desenvolvimentos de pesquisas nos cinco continentes. Ressalta-se, no entanto, que mais da metade das publicações selecionadas (51%) foram desenvolvidas nos EUA, seguidas pela China, Espanha e Reino Unido com 8% cada, representando juntos 75% da amostra. Existe uma lacuna de pesquisa em relação ao desenvolvimento de estudos na América Latina e na Europa Oriental.

Na análise setorial, o setor mais citado foi o de equipamentos de informática, eletrônicos e ópticos - C (26), com 13,8% de citações, seguido de produtos químicos (10,8%) e máquinas e equipamentos (10%). Sobre o tamanho das empresas investigadas, 35,5% são caracterizadas como grandes empresas. 23,3% das citações não identificaram o porte da empresa, 22,8% são médias empresas, 17,9% são pequenas empresas e apenas 0,5% são consideradas microempresas. A Figura 3.6 mostra o número de citações de cada setor, segmentadas pelo tamanho das empresas.

O foco dado nesta área à grandes empresas negligencia as pequenas e médias empresas (PMEs). Embora tenham menos recursos e poder de mercado do que as grandes empresas, essas firmas têm uma configuração mais flexível e informal que pode oferecer vantagens de inovação [13]. “Como resultado, a integridade do processo do NPD pode afetar o desempenho oportuno dos novos produtos” [14]. Portanto, os resultados obtidos para grandes empresas podem diferir em resultados em empresas de pequeno porte e / ou em estágio inicial [15], e essas diferenças podem ser evidenciadas em pesquisas futuras.

B. Facilitadores de velocidade

Na leitura completa dos artigos, 19 facilitadores de velocidade de NPD foram identificados. Esses facilitadores foram agrupados em cinco categorias, de acordo com suas definições, foram: (1) Equipe, facilitadores que fazem referência aos efeitos das pessoas envolvidas na equipe de desenvolvimento; (2) Integração, facilitadores que apontam para qualquer ação de agregação/ união entre as partes interessadas no processo; (3) Estratégia, facilitadores que demonstram um certo padrão de alocação de recursos para cumprir um determinado objetivo; (4) Processo, facilitadores que fazem referência às ações continuadas de certas atividades durante o desenvolvimento; (5) Produto, facilitadores que indicam os efeitos das características do produto para o processo de desenvolvimento. A Tabela I indica cada um dos facilitadores, ID de citação e construto.

TABELA I. LEVANTAMENTO DOS FACILITADORES DE VELOCIDADE DE NPD

ID de citação	Facilitador	Cons.
[16], [22], [25], [28], [39], [40], [42], [43], [47], [49], [57], [58], [59], [62], [63], [2], [77], [82], [87].	Equipes multifuncionais	Equipe
[49], [42], [76]	Experiência da equipe	
[15], [23], [26], [14], [50], [51], [2], [69], [71], [76]	Empoderamento da equipe	

ID de citação	Facilitador	Cons.
[15], [37], [39], [40], [14], [2], [65], [71], [5], [92]	Liderança	
[27], [30], [28], [38], [45], [60], [2], [66], [68], [75], [72], [6], [5], [91], [92]	Aprendizagem	
[26], [32], [45], [47], [66], 65 [75]	Cultura organizacional	
[23], [26], [48], [14], [2]	Estratégias de gestão	Estratégia
[9], [45]	Estratégias de marketing	
[23], [9], [32], [58], [61], [83], [91]	Estratégias de qualidade	
[15], [18], [19], [20], [21], [22], [24], [25], [26], [28], [31], [32], [33], [36], [37], [38], [42], [43], [45], [50], [54], [55], [57], [61], [2], [65], [70], [72], [74], [82], [83], [84], [85], [1], [5], [91], [92], [93]	Integração funcional	Integração
[15], [16], [20], [28], [29], [38], [42], [43], [47], [55], [57], [2], [73], [79], [80], [89], [3], [90], [92]	Integração com o cliente	
[20], [25], [28], [31], [35], [38], [41], [42], [43], [47], [55], [57], [64], [2], [78], [80], [81], [83], [86], [88], [1], [5], [94]	Integração com fornecedores	
[42], [61], [67], [85]	Integração com outras empresas	
[19], [25], [33], [34], [43], [51], [56], [2], [77], [83], [87], [1]	Simplificação de processo	Processo
[21], [28], [29], [35], [38], [42], [44], [61], [64], [67], [68], [72], [6], [78], [81], [13], [85], [87], [5], [92], [94]	Comunicação	
[16], [17], [25], [26], [46], [54], [83]	Simulação	
[26], [9]	Frequência de testes	
[26], [28], [37], [42], [59]	Conteúdo do projeto	
[53], [2], [74], [78], [87]	Design do produto	Produto

A maioria dos estudos selecionados cita apenas um facilitador (33%), seguido por estudos que citam dois facilitadores (32%), que juntos somam mais de 65% dos estudos encontrados. Há uma dificuldade em encontrar estudos que realizam uma avaliação mais holística. Embora tenha sido encontrado em 18% dos estudos, mais de 4 facilitadores. Dos cinco principais temas (construtos) encontrados na literatura, a integração é a mais citada, correspondendo a 40% dos documentos selecionados. Em seguida, equipe (29%), processo (22%), estratégia (7%) e produto (2%) são encontrados.

IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS E AGENDA DE PESQUISA

Ao avaliar a união de 88 estudos nesta temática, foram encontradas algumas inconsistências e lacunas. Em relação às características do desenvolvimento dos estudos, observa-se que o método mais aplicado foi o survey, seguido de um estudo de caso. Existem poucos estudos em que o pesquisador acompanha e / ou testa a aplicação do facilitador no processo, como é o caso de métodos como experimentos e pesquisas-ação. Também sobre os métodos aplicados, quatro revisões de literatura foram encontradas, sendo duas delas de meta-análise. A deficiência encontrada neste grupo tem a ver com a seleção

apenas de estudos empíricos, não há indicações de formas de implementação e foco na teoria de um facilitador individual.

Ao avaliar a localização em que os estudos foram desenvolvidos, há uma observação importante, nenhum estudo foi encontrado na América Latina, Europa Oriental, assim como na maior parte do continente africano, uma vez que há apenas um estudo na África do Sul. Ressalta-se que essa avaliação ocorreu através do país de onde os dados foram coletados, e não se trata da origem dos autores. Sendo ainda mais específico sobre a coleta de dados, foi realizada a extração de unidades de análise de cada estudo.

Observou-se que o setor industrial mais citado no estudo foi computador, equipamento eletrônico e óptico (13,8%). No entanto, uma observação importante tem a ver com o tamanho das empresas escolhidas para os estudos. A maioria das pesquisas foi realizada em grandes empresas (35,5%), que possuem características diferentes em relação aos demais tamanhos. Há evidências de que empresas de pequeno porte e / ou em estágio inicial exibem diferentes comportamentos durante o desenvolvimento de seus produtos devido a recursos escassos quando comparados a empresas maiores [77, 90]. Portanto, as PMEs foram negligenciadas nos estudos, e isso mostra uma lacuna importante nesse tema.

Ao avaliar mais especificamente o conteúdo de cada artigo, outras inconsistências também podem ser evidenciadas. Os estudos encontrados mencionaram principalmente informações sobre um ou no máximo dois facilitadores (65%). Portanto, há pouco esforço para realizar essa análise de forma holística na empresa [5, 83], analisando conjuntamente a relação de pessoas, processos, estratégias e outros fatores que podem ter influenciado este tempo de desenvolvimento.

A categoria de facilitadores mais citados na literatura analisada foi a integração. Nele estão contidos os facilitadores: integração do cliente; integração de fornecedores; integração com outras empresas; e integração funcional, sendo esta última citada pelo maior número de artigos. Em seguida, uma categoria bem estudada é a da equipe, que envolve facilitadores que se referem ao efeito causado pelas pessoas envolvidas no processo do PDP. Nesta categoria, o facilitador mais citado foi a necessidade de implementar uma equipe multifuncional. E a menos citada é a experiência de equipe.

Na categoria de estratégias estão incluídos os facilitadores que demonstram um certo padrão de alocação de recursos para cumprir um determinado objetivo. Pouco foi encontrado na literatura referente a esse tema específico (correspondendo a 7% dos artigos selecionados) apesar do reconhecimento da importância de avaliar aspectos estratégicos da organização no desenvolvimento de um novo produto.

Outra categoria importante identificada foi a dos processos, em que são os facilitadores que fazem referência às ações continuadas de certas atividades durante o desenvolvimento. Embora haja uma indicação de que a frequência dos testes também afeta o tempo, não foram encontradas diretrizes para sua aplicação no processo, nem são enfatizados quaisquer outros possíveis resultados internos.

Um dos resultados interessantes encontrados neste estudo foram as lacunas na categoria de produto. Por se tratar de um

processo de desenvolvimento de produto, a premissa inicial de que os facilitadores que indicam os efeitos das características do produto no processo apresentariam um vasto conhecimento na literatura. No entanto, apenas 2% dos estudos selecionados indicaram que as características do produto afetam o tempo [18, 37, 74].

Para finalizar a análise de conteúdo, foi desenvolvido um cruzamento de informações que considerou o aspecto temporal das publicações. Primeiramente, realizou-se um levantamento de todas propostas de trabalhos futuros descritas nos artigos. Em seguida, foi observado quais propostas haviam sido respondidas nos anos subsequentes. A Figura 1 demonstra esta conexão entre os artigos, os quais estão divididos por cores de acordo com as cinco categorias pré-estabelecidas neste documento (Processo – Cinza; Produto – Laranja; Estratégia – Azul; Equipe – Verde; Integração - Roxo). Uma categoria dos artigos com propostas gerais foi adicionada na cor amarela.

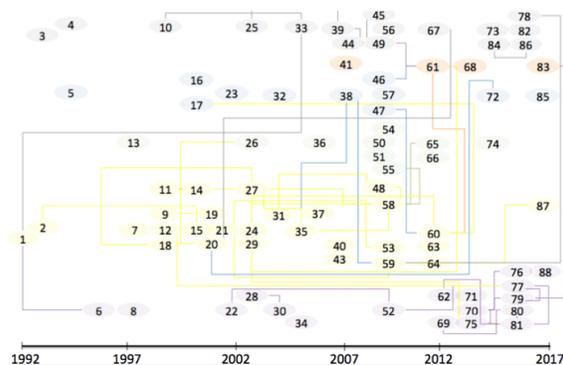


Fig. 1. Mapeamento das oportunidades de trabalhos futuros

Ao final desta conexão entre artigos, notou-se que algumas oportunidades ainda encontram-se em aberto na literatura, e assim apresentam potencial de serem exploradas pelos pesquisadores. A Tabela II apresenta uma agenda de pesquisa, com algumas questões de pesquisas sugeridas na amostra de artigos desta revisão que ainda não foram respondidas.

TABELA II. AGENDA DE PESQUISA

ID	Questões de pesquisa sugeridas
[78]	Qual o efeito da modularidade na inovação de produtos no nível de componente e arquitetura do produto?
[62]	Como ocorre a relação entre a velocidade do NPD e a distribuição do poder de decisão para diferentes tipos de decisões? A descentralização ou a centralização influenciam a velocidade de NPD? (Sugere-se um estudo longitudinal)
[59]	Nas empresas que dedicam mais esforços a produtos inovadores, os gerentes são mais sensíveis ao potencial de atrasos e, portanto, dão maior ênfase à redução do tempo de ciclo? O foco maior em produtos inovadores está positivamente correlacionado com a decisão de adquirir as tecnologias necessárias de provedores externos?
[68]	A qualidade do produto, a satisfação do cliente ou a criatividade de novos produtos mediam o efeito da orientação do mercado sobre a velocidade de inovação e desempenho de novos produtos?
[91]	A relação entre P&D e marketing é mais importante no NPD do que a relação de P&D e TI?
[49]	Qual o efeito do design da equipe nos diferentes estágios do processo de NPD?

ID	Questões de pesquisa sugeridas
[76]	Qual a eficácia de equipes autônomas no desenvolvimento de novos negócios?
[13]	Como os gerentes podem fortalecer os efeitos funcionais e lidar com os efeitos disfuncionais do estilo de comunicação e da diversidade etária? Existem variáveis mediadoras e contextuais que moldam e podem explicar os efeitos dos estilos de comunicação divergente no NPD?
[66]	Os valores da cultura da equipe têm um efeito direto no aprendizado da equipe e na velocidade para o mercado?
[71]	Quais são as diferenças por trás dos sucessos e fracassos do projeto? (Explorar explicações rivais) Como a velocidade do NPD de alta inovação se relaciona com o sucesso do projeto? Como a terceirização influencia a alta velocidade do NPD?
[42]	Como as startups constroem seus ativos e competências? E como essas dinâmicas influenciam os processos de NPD? Quando a velocidade da inovação é apropriada e o que acontece quando a inovação é acelerada nas startups?
[77]	Qual o impacto das práticas do NPD no sucesso das empresas iniciantes? Quais fatores influenciam a adoção de estruturas mais rigorosas à medida que as startups crescem e evoluem?
[5]	Como o uso de big data pode suportar a inovação acelerada?
[92]	Como os ecossistemas de inovação afetam o NPD acelerado?

V. CONCLUSÃO

As duas questões de pesquisa propostas no início do estudo foram respondidas. A primeira questão foi respondida extraindo 19 facilitadores de velocidade de NPD encontrados na literatura, os quais foram agrupados em cinco constructos (Tabela 1). A segunda pergunta foi respondida a partir do cruzamento de informações, obedecendo uma ordem temporal de publicações, das propostas de trabalhos futuros e os objetivos de artigos publicados posteriormente. O resultado deste cruzamento pode ser avaliado na Figura 1. E as questões de pesquisas que ainda podem ser exploradas futuramente por outros pesquisadores encontram-se expressas na Tabela 2. A presente pesquisa possibilitou importantes contribuições ao ambiente empresarial e acadêmico. Afinal, as descobertas deste estudo se baseiam em pesquisas anteriores para oferecer aos pesquisadores insights adicionais que tendem a acelerar a inovação para uma ampla variedade de setores. Eles também ajudam a delinear maneiras pelas quais os administradores podem aplicar técnicas específicas para promover a inovação rápida e aumentar a probabilidade de sucesso com o novo produto.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq (Brasil) pelo apoio financeiro concedido a este estudo.

REFERÊNCIAS

- [1] B. Brewer, A. Arnette, "Design for procurement: What procurement driven design initiatives result in environmental and economic performance improvement?", *J. of Purchasing and Supply Manag.*, vol. 23, n. 1, pp. 28-39, 2017.
- [2] J. Chen, F. Damanpour, R. Reilly, "Understanding antecedents of new product development speed: A meta-analysis", *J. of Oper. Manag.*, vol. 28, n. 1, pp. 17-33, 2010.

- [3] W. Chang, S. Taylor, "The Effectiveness of Customer Participation in New Product. *J. of Mark*", vol. 80, n. 1, pp. 47-64, 2016
- [4] Y. Zhan, K. Tan, G. Ji, L. Chuang, M. Tseng, "A big data framework for facilitating product innovation processes". *Bus. Process Manag. J.*, vol. 23, n. 3, pp. 518-536, 2017.
- [5] J. Chen, R. Reilly, G. Lynn, "New product development speed: Too much of a good thing?" *J. of Product Innov Manag.*, vol. 29, n. 2, pp. 288-303, 2012.
- [6] M. Swink, "Completing projects on-time: How project acceleration affects new product development". *J. of Eng. and Techno Manag.*, vol. 20, n. 4, pp. 319-344, 2003.
- [7] R. Rosas-vega, R. Vokurka, "New product introduction delays in the computer industry. *Ind. Manag. & Data Systems*", vol. 100, n. 4, pp.157-163, 2000.
- [8] D. Denyer, D. Transfield. "Producing a Systematic Review". *The Sage Handbook of Organizational Res Methods*, London, pp. 671-689, 2009.
- [9] D. Moher, D. J. Tetzlaff, A. Tricco, M. Sampson, D. Altman. "Epidemiology and reporting characteristics of systematic reviews. *PLoS Med*, vol. 4, n. 3, pp. 78-90, 2007.
- [10] R. Pesch, R. Bouncken, S. Kraus, "Effects of Communication Style and Age Diversity in Innovation Teams". *Int. J. of Innov and Techno Manag.*, vol. 12, n. 6, pp. 1-20, 2015.
- [11] M. Alloca, E. Kessler, "Innovation speed in small and medium-sized enterprises. *Creativity and Innov Manag.*", vol. 15, n. 3, pp. 279-295, 2006.
- [12] V. Mabert, R. Muth, R. Schmenner. "Collapsing new product development times – 6 case studeis". *J. of Product Innov Manag.*, vol. 9, n. 3, pp. 200-212, 1992.
- [13] N. Karagozoglu, W. Brown, "Time-based Manag. of the new product development process". *The J. of Prod Innov Manag.*, v. 10, n. 3, pp. 204-215, 1993.
- [14] L. Trygg, "Rapid prototyping – the Swedish industry experience. *Int. J. of Human Factor in Manufacturing*", vol. 4, n. 3, pp. 321-338, 1994.
- [15] V. Krishnan, S. Eppinger, D. Whitney, "Accelerating product development by the exchange of preliminary product design information". *J. of Mechanical Design*, vol. 117, n. 4, p. 491-498, 1995.
- [16] P. Carter, S. Melnyk, R. Handfield, "Identifying the basic process strategies for time-based competition". *Prod. and Inventory Manag. J.*, vol. 36, n.1, pp. 65-70, 1995.
- [17] C. Pragman, "JIT II: A purchasing concept for reducing lead times in time-based competition". *Bus. Horizons*, vol. 39, n. 4, pp. 54-58, 1996.
- [18] T. Willis, "Operation competitive requirements for the twenty-first century". *Ind. Manag. & Data Systems*, vol. 98, n. 2, pp. 83-86, 1998.
- [19] G. Hardaker, "An integrated approach towards product innovation in Int. manufacturing organizations". *European J. of Manag.*, vol. 1, n. 2, pp. 67-73, 1998.
- [20] K. Sim, A. Curatola, "Time-based competition". *Int. J. of Quality & Reliability Manag.*, vol. 16, n. 7, pp. 659-674, 1999.
- [21] Y. Narahari, N. Viswanadham, V. Kumar, "Lead time modeling and acceleration of product design and development". *IEEE Transactions on Robotics and Automotion*, vol. 15, n. 5, pp. 882-896, 1999.
- [22] J. Jayaram, S. Vickery, C. Droge, "An empirical study of time-based competition in the North American automotive supplier industry". *Int. J. of Oper. & Prod. Manag.*, vol. 19, n. 10, pp. 1010-1034, 1999.
- [23] E. Kessler, A. Chakrabarti, "Speeding up the pace of new product development". *J. of Product Innov Manag.*, v. 16, n. 3, pp. 231-247, 1999.
- [24] G. Lynn, R. Skov, K. Abel, "Practices that support team learning and their impact on speed to market and new product success". *J. of Product Innov Manag.*, vol. 16, n.1, pp. 439-454, 1999.
- [25] A. De toni, A. Meneghetti, "Traditional and innovative paths towards time-based competition". *Int. J. of Product Econ*, vol. 66, n. 3, pp. 255-268, 2000.
- [26] K. Kraemer, J. Dedrick, R. Yamashiro, "Refining and extending the Bus. model with information Techno Dell Computer Corporation". *The information Soc*, vol. 16, n. 1, pp. 5-21, 2000.
- [27] E. Kessler, P. Bierly, S. Gopalakrishnan, "Internal vs. external learning in new product development: effects on speed, costs and competitive advantage". *R and D Manag.*, vol. 30, n. 2, pp. 213-224, 2000.
- [28] C. Droge, J. Jayaram, S. Vickery. "The ability to minimize the timing of new product development and introduction: an examination of antecedent factors in the North America automobile supplier industry". *J. of Product Innov Manag.*, vol. 17, n.1, pp. 24-40, 2000.
- [29] C. Tennant, P. Roberts. "A faster way to create better quality products". *Int. J. of Project Manag.*, vol. 19, n. 6, p. 353-362, 2001.
- [30] M. Tatikonda, M. Montoya-weiss, "Integration Oper. and marketing perspectives of product innovation: The influence of organizational process factors and capabilities on development performance". *Manag. Science*, vol. 47, n. 1, pp. 151 -172, 2001.
- [31] B. Lukas, A. Menon, S. Bell, "Organizing for new product development speed and the implications for organizational stress". *Industrial Marketing Manag.*, vol. 31, n. 4, pp. 349-355, 2002.
- [32] M. Primo, S. Amundson, "An exploratory study of the effects of supplier relationships on new product development outcomes". *J. of Oper. Manag.*, vol. 20, n. 1, pp. 32-52, 2002.
- [33] E. Kessler, P. Bierly, S. Gopalakrishnan, "Internal vs. external learning in new product development: effects on speed, costs and competitive advantage". *R and D Manag.*, vol. 30, n. 2, pp. 213-224, 2000.
- [34] P. Rondeau, T. Ragu-Nathan, M. Vonderembse, "The information systems environment of time- based competition". *Omega*, vol. 31, n. 4, pp. 253-268, 2003.
- [35] S. Valle, L. Avella, "Cross-functionality and leadership of the new product development teams". *European J. of Innov Manag.*, vol. 6, n.1, pp. 32-47, 2003.
- [36] Bstieler, L.; Gross, C. "Measuring the effect of environmental uncertainty on process activities, project team characteristics, and new products success". *J. of Bus. and Ind. Mark*, vol. 18, b. 2-3, pp. 146-161, 2003.
- [37] Petersen, K; Handfield, R.; Ragatz, G. "A model of supplier integration into new product development". *The J. of Product Innov Manag.*, vol. 20, n. 4, pp. 284, 2003.
- [38] A. Sánchez, M. Pérez. "Cooperation and the ability to minimize the time and cost of new product development within the Spanish automotive supplier industry". *J. of Prod Innov Manag.*, vol. 20, n. 1, pp. 57-69, 2003.
- [39] C. Droge, Jayaram, J.; Vickery, S. "The ability to minimize the timing of new product development and introduction: an examination of antecedent factors in the North America automobile supplier industry". *J. of Prod Innov Manag.*, vol. 17, n.1, pp. 24-40, 2000.
- [40] J. Yang, "Knowledge Manag. opportunities for cycle time reduction". *Int. J. Innov and Learning*", vol. 1, n. 2, pp. 192 – 207, 2004.
- [41] A. Menon, Lukas, B. "Antecedents and outcomes of new product development speed: A propositional inventory germane to marketing". *European J. of Mark*, vol. 38, n. 1-2, pp. 209-223, 2004.
- [42] M. Becker, Salvatore, P.; Zirpoli, F. "The impact of virtual simulation tools on problem-solving and new product development organization". *Res pol*, v. 34, n. 9, p. 1305-1321, 2005.
- [43] M. Kodama, "How two Japanese high-tech companies achieved rapid innovation via strategic community networks". *Strategy & Leadership*, vol. 33, n. 6, pp. 39-47, 2005.
- [44] J. Chen, Reilly, R.; Lynn, G. "The impacts of speed-to-market on new product success: the moderating effects of uncertainty". *IEEE transactions on Eng. Manag.*, vol. 52, n. 2, pp. 199-212, 2005.
- [45] P. Carbonell, Rodriguez, A. "Designing teams for speedy product development: the moderating effect of technological complexity". *J. of Bus. Res* , vol. 59, n. 2, pp. 225-232, 2006.
- [46] G. Barczak, Sultan, F.; Hultink, E. "Determinants of IT usage and new product performance". *J. of Prod Innov Manag.*, vol. 24, n. 6, pp. 600-613, 2007.
- [47] A. Heirman, Clarysse, B. "Which tangible and intangible assets matter for innovation speed in start-ups". *J. of Prod Innov Manag.*, v. 24, n. 4, p. 303-315, 2007.

- [48] K. Ramachandran, Krishnan, V. "Design architecture and introduction timing for rapidly improving industrial products". *Manuf & Serv Oper. Manag.*, v. 10, n. 1, p. 149-171, 2008.
- [49] T. Dereli, Baykasoglu, A.; Buyukozkan, G. "An affordable reverse Eng. framework for innovative rapid product development". *Int. J. of Ind. and Syst Eng.*, v. 3, n. 1, p. 31-37, 2008.
- [50] C. Cheng, Shiu, E. "Critical success factors of new product development in Taiwan's electronics industry". *Asia Pacific J. of Mark and Log.*, v. 20, n. 2, p. 174-189, 2009.
- [51] Barczak, G.; Hultink, E.; Sultan, F. "Antecedents and consequence of information Techno usage in NPD: A comparison of dutch and U.S companies". *J. of Prod Innov Manag.*, v. 25, n. 6, p. 620-631, 2008.
- [52] Valle, S.; Vázquez-Bustelo, D. "Concurrent Eng. performance: incremental versus radical innovation". *Int. J. of Prod. Econ.*, v. 199, n. 1, p. 136-148, 2009.
- [53] Sun, H.; Zhao, Y.; Yau, H. "The relationship between quality Manag. and the speed of new product development". *TQM J.*, v. 21, n. 6, p. 576-588, 2009.
- [54] Parry, M.; Song, M.; Weerd-Nederhof, P.; Visscher, K. "The impact of NPD strategy, product strategy, and NPD processes on perceived cycle time". *J. of Prod Innov Manag.*, v. 26, n. 6, p. 627-239, 2009.
- [55] W. Johnson, Piccolotto, R; Filippini, R. "The impacts of time performance and market knowledge competence on new product success: an Int. study". *IEEE Transactions on Eng. Manag.*, v. 56, n. 2, p. 219-228, 2009.
- [56] Fekri, R.; Aliahmadi, A.; Fathian, M. "Predicting a model for agile NPD process with fuzzy cognitive map: The case of Iranian manufacturing enterprises". *Int. J. of Adv Manuf Techno.*, v. 41, n. 11-12, p. 1240-1260, 2009.
- [57] M. Park, Lim, J.; Birnbaum-More, P. "The effect of multiknowledge individuals on performance in cross- functional new product development teams". *J. of Prod Innov Manag.*, v. 26, n. 1, p. 86-96, 2009.
- [58] B. Miguela-Rata, D. Arias-Aranda, D. "New product performance through multifunctional teamwork: an analysis of the development process towards quality excellence". *Total Quality Manag. & Bus. Excellence.*, v. 20, n. 4, p. 381-392, 2009.
- [59] R. Lin, "Supplier integration and time-based capabilities: an empirical study". *J. of the Chinese Institute of Ind. Engineers.*, v. 26, n. 3, p. 215-227, 2009.
- [60] K. Strang. "Leadership Substitutes and Personality Impact on Time and Quality in Virtual New Product Development Projects". *J. of Internet Banking and Commerce.*, v. 42, n. 1, p. 73-90, 2010.
- [61] A. Akgun, Keskin, H.; Byrne, J. "Procedural Justice Climate in New Product Development Teams: Antecedents and Consequences". *J. of Prod Innov Manag.*, v. 27, n. 7, p. 1096-1111, 2010.
- [62] A. Oke, Idiagbon-Oke, M. "Communication channels, innovation tasks and NPD project outcomes in innovation-driven horizontal networks". *J. of Oper. Manag.*, vol. 28, n. 5, pp. 442-453, 2010.
- [63] P. Carbonell, Rodríguez-Escudero, A. "The effect of market orientation on innovation speed and new product performance". *J. of Bus. & Ind. Mark.*, v. 27, n. 7, pp. 501-513, 2010.
- [64] M. Dayan, Basarir, A. "Antecedents and consequences of team reflexivity in new product development projects". *J. of Bus. & Ind. Mark.*, v. 25, n. 1, p. 18-29, 2009.
- [65] M. Millson, Wilemon, D. "The Impact of Changing Markets and Competition on the NPD Speed/Market Success Relationship". *Int. J. of Innov Manag.*, v. 14, n. 5, p. 841-870, 2010.
- [66] A. Kach, Azadegan, A; Dooley, K. "Analyzing the successful development of a high novelty innovation project under a time pressured schedule". *R and D Manag.*, vol. 42, n. 5, pp. 377-400, 2012.
- [67] M. Lin, Huang, C.; Chiang, I. "Explaining trade-offs in new product development speed, cost, and quality: The case of high-tech industry in Taiwan". *Total Quality Manag. & Bus. Excellence.*, v. 23, n. 9-10, p. 1107-1123, 2012.
- [68] Tsinopoulos, C.; Al-Zu'bi, Z. "Clockspeed effectiveness of lead users and product experts". *Int. J. of Oper. & Prod. Manag.*, v. 32, n. 9, p. 1097-1118, 2002.
- [69] H. Evanschitzky, M. Eisend, R. Calantone, Y. Jiang, "Success factors of product innovation: An updated meta-analysis". *J. of Prod Innov Manag.*, vol. 29, n. 1, pp. 21-37, 2012. .
- [70] A. Akgun, Keskin, H.; Lynn, G. "Antecedents and consequences of team sensemaking capability in product development projects". *R and D Manag.*, v. 42, n. 5, p. 473-493, 2012.
- [71] P. Patanakul, Chen, J.; Lynn, G. "Autonomous teams and new product development". *J. of Prod Innov Manag.*, v. 29, n. 5, p. 734-750, 2012.
- [72] T. Marion, J. Friar, T. Simpson, "New product development practices and early-stage firms: Two in depth case studies". *J. of Prod Innov Manag.*, vol. 29, n. 4, pp. 639-654, 2012.
- [73] P. Danese, Filippini, R. Direct and mediated effects of product modularity on development time and product performance. *IEEE Transactions on Eng. Manag.*, v. 60, n. 2, p. 260-271, 2013.
- [74] M. Lin, Tu, Y.; Chen, D.; Huang, C. "Customer participation and new product development outcomes: The moderating role of product innovativeness". *J. of Manag. & Org.*, v. 19, n. 3, p. 314-337, 2013.
- [75] T. Feng, Sun, L.; Sohal, A.; Wang, D. "External involvement and firm performance: Is time-to-market of new products a missing link?". *Int. J. of Prod. Res.*, v. 52, n. 3, p. 727-742, 2014.
- [76] Y., Zhao, Cavusgil, E.; Cavusgil, S. "An investigation of the black-box supplier integration in new product development". *J. of Bus. Res.*, v. 67, n. 6, p. 1058-1064, 2014.
- [77] M. Graner, M. Mibler-behr, "Method Application in New Product Development and the Impact on Product Success". *Int. J. of Innov and Techno Manag.*, vol. 12, n. 4, pp. 1-31, 2015.
- [78] T. Kong, Li, G.; Feng, T.; Sun, L. "Effects of marketing – manufacturing integration across stages of new product development on performance". *Int. J. of Prod. Res.*, v. 53, n. 8, p. 2269- 2284, 2015.
- [79] E. Vezzeti, Alemanni, M.; Moreli, B. "New product development (NPD) of 'family Bus.' dealing in the luxury industry: evaluating maturity stage for implementing a PLM solution". *Int. J. of Fashion Design, Techno and Education.*, v. 10, n. 2, p. 219-229, 2016.
- [80] I. Chiang, S. Wu, "Supplier Involvement and Contract Design during New Product Development." *IEEE Transactions on Eng. Manag.*, v. 63, n. 2, pp. 248-258, 2016.
- [81] F. Ciarapica, M. Bevilacqua, Mazzuto, G. "Performance analysis of new product development projects". *Int. Jour. of Productivity and Perf. Manag.*, vol. 65, n. 2, pp. 177-206, 2016.
- [82] O. Vay-vay, M. Cruz-cunha, "Supplier involvement in new product development: a case study from the semiconductor industry". *E+M Ekonomie a Manag.*, vol. 19, n. 3, pp. 123-141, 2016.
- [83] D. Elvers, C. Song, "Conceptualizing a framework for customer integration during new product development of chemical companies". *J. of Bus. & Ind. Marke.*, vol. 31, n. 4, pp. 488-497, 2016.
- [84] H. Simon, J. Leiker, "Using Startup Communication for Opportunity Recognition — an Approach To Identify Future Product Trends". *Int. J. of Innov Manag.*, vol. 20, n. 8, pp. 1-22, 2016.
- [85] J. Ettlie, C. Tucci, P. Gianiodis, "Integrated information Techno and new product success". *European J. of Innov Manag.*, vol. 20, n. 3, pp. 406-427, 2017.
- [86] K. Tan, Y. Zhan. "Improving new product development using big data : a case study of an electronics company". *R & D Manag.*, vol. 47, n. 4, pp. 570-582, 2017.
- [87] G. Gonzalez-zapatero, J. Gonzalez-benito, G. Lannelongue, "Understanding how the functional integration of purchasing and marketing accelerates new product development". *Int. J. of Prod. Econ.*, vol. 193, n. 10, pp. 770-780, 2017.
- [88] Y. Zhang, L. Wang, J. Gao, "Supplier collaboration and speed-to-market of new products: the mediating and moderating effects". *J. of Intelligent Manuf.*, vol. 28, n. 3, pp. 805-818, 2017.

Estratégia de Produção e práticas Lean-Green: *um mapeamento da literatura*

Genadra Alves Queiroz, Ivete Delai, Alceu Gomes Alves Filho

Genadra Alves Queiroz

Departamento de Pós Graduação em
Engenharia de Produção
Universidade Federal de São Carlos

São Carlos, Brasil
geandraqueiroz@gmail.com

Ivete Delai

Departamento de Pós Graduação em
Engenharia de Produção
Universidade Federal de São Carlos

São Carlos, Brasil
ivetedelai.ufscar@gmail.com

Alceu Gomes Alves Filho

Departamento de Pós Graduação em
Engenharia de Produção
Universidade Federal de São Carlos

São Carlos, Brasil
alceu@dep.ufsc

Abstract— A redução dos impactos ambientais são essenciais para a competitividade das empresas, no entanto, estudos práticos e que tratam de abordagens integradas à estratégia de produção ainda são preliminares. Deste modo, este artigo tem como objetivo mapear a literatura que trata da ligação entre o conteúdo da estratégia de produção (prioridades competitivas e áreas de decisão) e as práticas *Lean-Green*.

Keywords—*estratégia de produção, lean manufacturing e Green manufacturing.* =

^aINTRODUÇÃO

O gerenciamento do meio ambiente são chaves para as prioridades competitivas das empresas, mas a maneira como elas são gerenciadas na estratégia de produção ainda é desconhecida, pois existem poucos estudos direcionados para a implantação de uma estratégia de produção ambientalmente eficiente [1] [2] [3]. Além disso, implantar práticas de gestão da produção e práticas para a redução dos impactos ambientais de maneira integrada maximiza a performance de ambas [4].

Do mesmo modo, que a implantação da filosofia de gestão da produção conhecida como “*Lean Manufacturing*” e de práticas relacionadas ao “*Green Manufacturing*” tem sido considerada uma abordagem de grande potencial para atingir simultaneamente

desempenho econômico e ambiental, chamaremos neste trabalho de *Lean-Green* [5]. Contudo, este autor destaca que o desenvolvimento desta área de pesquisa está em estágio preliminar. Portanto, esta pesquisa busca mapear a ligação entre o conteúdo da estratégia de produção (prioridades competitivas e áreas de decisão) e as práticas *Lean-Green* por meio de uma revisão sistemática da literatura.

O artigo encontra-se estruturado por um breve referencial teórico, seguido pelo método de pesquisa, apresentação dos resultados e considerações finais do trabalho

^bREFERENCIAL TEÓRICO

a. Estratégia de Produção

A estratégia de produção é o conjunto de decisões que moldam as capacitações de longo prazo de qualquer operação e contribui para a estratégia global conciliando os requisitos do mercado com os recursos das operações [6]

O conteúdo da estratégia de produção é composto por um conjunto de prioridades competitivas, tais como custo, qualidade, velocidade de entrega, confiabilidade na entrega, serviço, inovação [7]. Recentemente o meio ambiente está sendo considerada também como uma das prioridades, como aponta relacionadas às operações [3]. Além disso, a estratégia de produção é composta por decisões nas áreas estruturais e infraestruturais da produção, as quais são: Instalação, Capacidade,

Tecnologia, Cadeia de Suprimentos, Recursos Humanos, Gestão da Qualidade, Planejamento e Controle da Produção, Desenvolvimento do Produto, Sistema de Medição de Desempenho e Organização.

b. *Lean Manufacturing*

A Manufatura Enxuta, no inglês *Lean Manufacturing*, foi introduzida pela Toyota no Japão no final da década de 1940 e na década de 1980 passou a despertar o interesse de outras organizações, por vim apresentando desempenho muito superior na qualidade de seus produtos e na eficiência de seus processos com relação aos outros fabricantes de automóveis [8]. É uma abordagem que vai além de uma estratégia de gestão da produção, atualmente é considerada como uma filosofia de gerenciamento para as organizações, as quais vêm progressivamente o adotando em seus sistemas produtivos almejando serem mais competitivas [9]. Cada vez mais organizações dos mais diversos setores da economia ao redor do mundo estão adotando as práticas do *Lean Manufacturing* [10].

O *Lean* que se trata de um conjunto de princípios e práticas para eliminar todas as formas de desperdício dentro de uma organização. Estes desperdícios são categorizados em: defeitos, estoque, processamento inapropriado, superprodução, espera, movimentação, transporte e talento [7]. Já as principais práticas *Lean*, entre as mais utilizadas estão o 5s, Kaizen, *Value Stream Map (VSM)*, *Just in Time (JIT)*, SMED, trabalho padronizado, *Total Productive Maintenance (TPM)*, Kanban, Trabalho Padronizado, Gestão Visual, Manufatura Celular e 5 porquês (análise de causa raiz) [11].

c. *Green Manufacturing*

O termo "*Green*" surgiu na década de 1990 como uma filosofia e abordagem operacional para reduzir os impactos ambientais negativos dos produtos, bem como aumentar o desempenho ambiental dos processos enquanto os objetivos econômicos sejam atingidos [5]. Os estudos [12], [13], [14], [15], resumem que o *Green Manufacturing* se trata da busca por reduzir a poluição, o consumo de energia e a geração de substâncias tóxicas por meio do desenvolvimento de novos processos na fase de fabricação.

Uma empresa *Green* pode aplicar diferentes ferramentas para a redução dos impactos ambientais gerados pelos processos produtivos, tais como: *Cleaner production*, *Life Cycle Assessment (LCA)*, sistema de gestão Ambiental, Economia Circular, Ecodesign., *Green Supply Chain* e o 6R [16], [13]. Utilizar ferramentas em que busquem a redução dos impactos ambientais se tornou um importante critério

competitivo, contudo, precisa estar alinhado aos outros critérios competitivos [3]. Além disso, o mesmo autor evidencia que a manufatura é responsável por grande parte dos impactos ambientais gerados. O autor expõe também que muitas empresas estão ponderando o desempenho ambiental em seus processos e, deste modo, os gerentes de produção necessitam considerar estas demandas nas operações diárias e na formulação de suas estratégias. Neste sentido, a literatura aponta que a estrutura fornecida pelo *Lean Manufacturing* pode facilitar a implantação destas práticas.

III. MÉTODO DE PESQUISA

A. Definição do Método

A revisão sistemática permite ao pesquisador realizar o mapeamento e a avaliação do conhecimento existente sobre o tema pesquisado a fim de especificar a questão de pesquisa que busca-se investigar [17]. A aplicação deste método provém da necessidade de pesquisadores em sintetizar toda a informação existente sobre algum fenômeno de maneira completa e imparcial. Com o objetivo extrair conclusões sobre algum fenômeno, que se torna possível a partir de estudos individuais ou fornece base para pesquisas futuras [18]. Esta revisão busca compreender como a literatura aborda as práticas Lean-Green na estratégia de produção.

B. Etapas da pesquisa

As etapas para condução desta pesquisa foram baseadas na proposta de [17] para a condução de uma revisão sistemática, as quais podem ser visualizadas na Figura 1.

Estas etapas buscaram responder o seguinte questionamento "Quais elementos do conteúdo da estratégia de produção estão ligados às práticas Lean-Green na literatura?". A primeira etapa resultou em 4637 estudos, após o primeira etapa seleção retornaram 344 artigos e na etapa final apenas 64 artigos foram incluídos nas análises com base nos critérios de inclusão e exclusão previamente definidos. A ferramenta utilizada para seleção e registro das etapas desta revisão sistemática foi o software StArt, desenvolvido pelo departamento de Engenharia de Software de Universidade Federal de São Carlos. Este software também ajudou na pontuação (score) dos artigos, relacionando aqueles que tinham mais correlação com as palavras chaves utilizadas. Já a codificação dos artigos (Etapa 5) foi adicionado o software QDAMiner 4.0

IV. RESULTADOS

A. Resultados Gerais

Neste tópico serão apresentados os gráficos, na Figura 2, com os resultados encontrados relativos ao ano de publicação do estudo, o método de pesquisa utilizado, setor do estudo, as prioridades competitivas, áreas de decisão e práticas *Lean-Green* que foram apresentadas nos estudos analisados.

B. Análise dos resultados

Por meio da análise destes 64 artigos foi possível destacar e reafirmar a lacuna quando se trata do tema Estratégia de produção e as práticas *Lean-Green*. Apenas o estudo de [2] tem como objetivo estudar a

interação entre as duas áreas. E o estudo [90] que destaca que as iniciativas para melhorar o desempenho ambiental devem ser alinhadas com as estratégias de produção para melhorar os indicadores de eficiência, lucratividade, qualidade, satisfação do consumidor e responsividade.

A grande maioria dos estudos destacam a compatibilidade do *Lean* com as práticas *Green*. Os quais destacam que a proposta do *Lean* em eliminar o que não agrega valor contribui para a redução dos desperdícios ambientais e assim, contribuem para atingir os objetivos do *Green*, ou seja, reduzir os impactos ambientais os processos de fabricação [18] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30]. Com relação às prioridades competitivas os estudos abordam principalmente o custo, associando à eficiência operacional e redução de desperdícios e gastos com multas ou disposição final de resíduos, qualidade

Fase da Revisão sistemática	Objetivo	Método	Ferramentas
1. Definição do problema	Formular a questão de pesquisa	Leitura exploratória dos temas e o referencial teórico preliminar	
2. Deinição das palavras-chave	Localizar os estudos		
3. Definição das bases de dados		Strings de Busca nas Bases de Dados SCOPUS, Web of Science e EBSCO	
4. Seleção dos estudos	Selecionar os estudos que repondem à questão de pesquisa	Critério de Inclusão: Abordar as áreas de interesse Estratégia de Produção, Lean Manufacturing e Green Manufacturing.. Critério de exclusão: artigos em duplicada; artigos que não mencionem estratégia de produção ou elementos do seu conteúdo, lean ou green no resumo; artigos que apenas citam as áreas de interesse mas não respondem ao menos uma questão de pesquisa; artigos que usam o termo sustentabilidade ou termos similares somente no sentido de durabilidade/permanência; e artigos que obtiverem score zero no StArt.	
4.1 Seleção 1 - Leitura de resumo e título	Extrair os estudos que o resumo contemple ao menos uma palavra-chave relacionada ao conteúdo da Estratégia de produção, Lean Manufacturing e Green Manufacturing.		StArt
4.2 Seleção 2 - Leitura de Introdução e Conclusão	Excluir os artigos que apenas citam as áreas de interesse no resumo mas não respondem à questão de pesquisa.		
4.3 Seleção 3 - Leitura do artigo na integra	Ler e codificar os artigos que trazem respostas à pergunta de pesquisa.		
5. Análise dos resultados	Analisar e sintetizar os resultados	Codificação e extração dos dados	StArt e QDAMiner
6. Relatório das evidências encontradas	Mapeamento da Literatura		

Figura 1 - Etapas da Pesquisa baseadas em Tranfield; Denver; Smart, (2003).



Figura 2 – Resultados das buscas [18] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30]

[32][33][34][35][36][37][38][39][40][41][42][43][44][45][46][47][48][49][50][51][52][53][54][55][56][57][58][59][60][61][62][63][64][65][66][67][68][69][70]
[71][72][73][74][75][76][77][78][79][80][81][82][83][84][85][86][87][88][89][90][91][92].

(redução de defeitos), velocidade (lead-time de entrega) e o desempenho em sustentabilidade, no aspecto ambiental refere-se principalmente à redução no consumo de materiais, energia e água, redução de emissões, já no aspecto social abordou-se muito as questões de saúde, segurança e bem estar do trabalhador. No que se refere às áreas de decisão foi enfatizado alterações principalmente em dois aspectos de decisão infra-estruturais: o capital intelectual e o sistema de medição de desempenho.

Com relação aos Recursos Humanos, os estudos [31] [83][85]e [29]destacam que o envolvimento e treinamento dos funcionários, além do comprometimento da alta direção é primordial para aumentar o nível de treinamentos ambientais e aprimorar as habilidades necessárias para a identificação e implementação das oportunidades de redução de desperdícios. Kuppusamy et al [31] complementa que o envolvimento dos funcionários colabora para a redução de tempo na implantação dos programas de melhoria.

Os sistemas de medição de desempenho e os indicadores foram bastante abordados. Para implantar a sustentabilidade de maneira efetiva deve ser alinhada aos indicadores tradicionais de eficiência, satisfação do consumidor, responsividade e flexibilidade e utilizar indicadores apropriados para combinar com as métricas de produção [19], [22], [41]. A ferramenta E-VSM, mais frequente entre as práticas *lean-green* nos estudos analisados, foi destacada como fundamental para a integração das métricas *Lean-Green* para gestão da produção e processos de melhoria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo apenas um mapeamento da literatura e os resultados mostraram que a ligação entre a estratégia de produção e as práticas *Lean -Green* é pouco abordado. Deste modo, para pesquisas futuras recomenda-se que isto seja estudado em maior profundidade uma vez que pode fornecer diretrizes para que organizações que busquem adequar sua estratégia de produção para a nova demanda de preservação ambiental sem perder a perspectiva de valor, objetivo principal da produção enxuta, bem como contribuir para estruturar a função produção alinhada à estratégia do negócio.

AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro tornando possível a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Chatha, K. A; Butt, I; Jajja, M. S. S.; Arshad, M. Theoretical developments in empirical quantitative manufacturing strategy literature, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 38 Issue: 1, Pp.183-210, 2018.
- Longoni, A., Cagliano, R. Sustainable Innovativeness and the Triple Bottom Line: The Role of Organizational Time Perspective. Journal of Business Ethics, 60–62. 2016.
- Gavronski, I. Resources and Capabilities for Sustainable Operations Strategy, Journal of Operations and Supply Chain Management Special Issue pp 1 - 20, 2012.
- Dües, C. M.; Tan, K. H.; Lim, M. . Green as the new lean: how to use lean practices as a catalyst to greening your supply chain. Journal of Cleaner Production. 2012.
- Garza-Reyes, J. A. 2015b. “Lean and Green – A Systematic Review of the State of the Art Literature.” Journal of Cleaner Production 102: 18–29.
- Slack, N. and Lewis, M.A. , Operations Strategy, Financial Times, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 2011.
- Hayes, R. H.; Pisano, G. P. Manufacturing strategy: at the intersection of two paradigm shifts. Production and operations management, 5(1), 25-41. 1996.
- Liker, J. K. O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- Womack, J. P.; Jones, D. T. A mentalidade enxuta nas empresas: elimine desperdícios e crie riqueza. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- Mostafa, S.; Dumrak, J.; Soltan, J. A framework for lean manufacturing implementation. Production & Manufacturing Research: An Open Access Journal, v.1:1 ,p. 44-64, 2013.
- Shah, R.; Ward, P. T. Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. Journal of Operations Management, n. 21 p. 129–149, 2003
- Pathak, P.; Singh, M. P. Sustainable manufacturing concepts: a literature review. International Journal of Engineering Technologies and Management Research, Vol. 4, No. 6. 2017
- Silva, D. A. L.; Silva, E. J. Ometto, A. R. Green manufacturing: uma análise da produção científica e de tendências para o futuro. Production, 26(3), 642-655, jul./set. 2016.
- Maruth, G.D; Rashmi, R. Green Manufacturing: It's Tools and Techniques that can be implemented in Manufacturing Sectors. 4th International Conference on Materials Processing and Characterization 2015.

- Kleindorfer, P.R., Singhal, K., Wassenhove, L.N. Sustainable operations management. *Production and Operations Management*. 14 (4), 482-492. 2005
- Pampanelli, A.B., Found, P. and Bernardes, A.M., A Lean & Green Model for a production cell. *J. Clean. Prod.*, 85, 19-30. 2014.
- Tranfield, D.; Denyer, D.; Smart, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, v. 14, p. 207-222, 2003.
- Kitchenham, B. Procedures for performing systematic reviews. Joint Technical Report Software Engineering Group, Department of Computer Science, Keele University, United King and Empirical Software Engineering, National ICT Australia Ltd., Australia, 2004.
- Ben Ruben, R.; Vinodh, S.; Asokan P. Implementation of Lean Six Sigma framework with environmental considerations in an Indian automotive component manufacturing firm: a case study. *Production Planning & Control*, v.28, p.1193-1211, 2017.
- Ferreira, E., Et Al. A lean and cleaner production benchmarking method for sustainability assessment : A study of manufacturing companies in Brazil, 177, 218–231. 2018.
- Vinodh, S. R, B. R.; Asokan, P. International Journal of Lean Six Sigma Article information : ISM and Fuzzy MICMAC application for analysis of Lean Six Sigma barriers with environmental considerations Abstract.2016.
- Abreu, M. F; Alves, A. C.; Moreira, F. Lean-Green models for eco-efficient and sustainable production. *Energy*, Volume 137, 15 October 2017.
- Kumar, v., et al. Adoption of Integrated Lean-Green-Agile Strategies for Modern Manufacturing Systems. *Procedia CIRP*, 61, 463–468. 2017.
- R. Ben Ruben, S. Vinodh; P. Asoka Implementation of Lean Six Sigma framework with environmental considerations in an Indian automotive component manufacturing firm: a case study, *Production Planning & Control*, 2017
- Chandrakumar, C., Gowryathan, J.; Kulatunga, A. K. Incorporate lean and Green Concepts to Enhance the Productivity of Transshipment Terminal Operations, 40, 301–306. 2016.
- Maruth, G.D; Rashmi, R. Green Manufacturing: It's Tools and Techniques that can be implemented in Manufacturing Sectors. 4th International Conference on Materials Processing and Characterization 2015.
- Verrier, B., et al. Combining organizational performance with sustainable development issues : the Lean and Green project benchmarking repository. *Journal of Cleaner Production*. 2013.
- Chiarini, A. Sustainable manufacturing-greening processes using specific Lean Production tools: An empirical observation from European motorcycle component manufacturers, *Journal of Cleaner Production* (2014), doi: 10.1016/j.jclepro.2014.07.080.
- Rothenberg, S.; Pil, F.K.; Maxwell, J. Lean, green, and the quest for superior environmental performance. *Production and Operations Management*, v.10, p.228-243, 2001.
- Florida, R. Lean and Green: The Move to Environmentally Conscious. *Manufacturing California Management Review*, v. 39, n. 1, p. 80–105, 1996.
- Kuppusamy et al. Evaluation and identification of lean-green resourced person (LGRP) for integrating and implementing lean and green practices in a manufacturing industry Proceedings of the ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress and Exposition .IMECE2016 November 11-17, 2016, Phoenix, Arizona, USA.
- Kurdve, M. et al. Lean and green integration into production system models e experiences from Swedish industry. *Journal of Cleaner Production*. 2014.
- Longoni, A. Cagliano, R. Cross-functional executive involvement and worker involvement in lean manufacturing and sustainability alignment. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 35 Issue: 9, pp.1332-1358.2015.
- Gandhi, n.s.; thanki, s.j.; thakkar, jitesh, j. Ranking of drivers for integrated lean-green manufacturing for Indian manufacturing SMEs. *Journal of Cleaner Production*, v. 171, p.675-689.
- Anvari, A.; Zulkifli, N.; Yusuff, R.M. Evaluation of approaches to safety in lean manufacturing and safety management systems and clarification of the relationship between them. *World Applied Sciences Journal*, v. 15, p.19-26, 2011.
- Yang, M.G.M; Hong, P.; Modi, S.B. Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: An empirical study of manufacturing firms. *International Journal of Production Economics*. v.129 Issue:2, p.251-261, 2011.
- Mittal, V. K., Sindhvani, R.; Kapur, P. K. (2016), "Two-Way Assessment Of Barriers To Lean-Green Manufacturing System: insights from India", *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, v. 7, pp. 1-8.
- Zhu, X.; Zhang, H.; Wu, C.; Huang, Z. (2017), "An economic model of integration framework of lean production and green manufacturing based on sustainability balanced scorecard", *Boletín Técnico/Technical Bulletin*, Vol. 55 No. 12, pp. 263-269.
- Pinto, M.J.A.; Mendes, J.V.; 2017. Operational practices of lean manufacturing: Potentiating environmental improvements. *Journal of Industrial Engineering & Management*. v. 10, p. 550–580.
- Torielli, R., Abrahams, R., Smillie, R., Voigt, R. Using lean methodologies for economically and environmentally sustainable foundries. *China Foundry* 8 (1), 74e88.2011.
- Salvador, R., Piekarski, C. M., Francisco, A. C. De. Approach of the Two-way Influence Between Lean and Green Manufacturing and its Connection to Related Organisational Areas. *International Journal of Production Management and Engineering*, v. 5, n. 2, p. 73-83, 2017.
- domingo, r., aguado, s., 2015. Overall Environmental Equipment Effectiveness as a Metric of a Lean and Green Manufacturing System. *Sustainab.*, 7(7), 9031-9047.
- Miller, G., Pawloski, J., Standrige, C., "A case study of lean, sustainable manufacturing", *Journal of Industrial Engineering and Management*, Vol. 3 No. 1, pp. 11-32.2010.
- Hellano, A.L., Moraes, A. J. I., Simon, A. T. Integrating sustainability indicators and lean manufacturing to assess manufacturing processes: application case studies in Brazilian industry. *Journal of Cleaner Production*, 153, 1-12.2016.
- Sajan M.P., Shalij P.R., Ramesh A., Biju Augustine P. "Lean manufacturing practices in Indian manufacturing SMEs and their effect on sustainability performance", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 28 Issue: 6, pp.772-793.2017.
- Habidi, N.F., Hibadullah, S.N., Mohd Fuzi, N., Salleh, M.I., Md Latip, N.A.. Lean manufacturing practices, ISO 14001, and environmental performance in Malaysian automotive suppliers. *International Journal of Management Science and Engineering Management* 13 (1), 45e53.2017.
- Ghobkhloo, M., Azar, A., Fathi, M. "Lean-green manufacturing: the enabling role of information technology resource", *Kybernetes*, Vol. 47 Issue: 9, pp.1752-1777.2018.
- Alvez, J.R.X., Alvez, J.M., . Production Management Model Integrating The Principles Of Lean Manufacturing And Sustainability Supported By The Cultural Transformation Of A Company. *International Journal Of Production Research*. 51 (11), 1e14.2015.

- Sawheney, R., Teparakul, P., Bagchi, A., Li, X. En-Lean: A Framework To Align Lean And Green Manufacturing In The Metal Cutting Supply Chain. *International Journal Of Enterprise Network Management*. V. 1, P. 238-260.2007.
- Wirkys, M., Chmielarz, A. . Integration Of Lean Management With Iso Management Systems In Enterprise. *Management And Production Engineering Review*. V.9. P.100-107. 2018.
- Souza, J.P.E.; Alvezs, J.M. Lean-Integrated Management System: A Model For Sustainability Improvement. *Journal Of Cleaner Production*. 172, 2667–2682.2018
- Cherrafi, A., Elfezazi S., Chiarini, A., Mokhlis, A., Benhida, K. . “The Integration Of Lean Manufacturing, Six Sigma And Sustainability: A Literature Review And Future Research Directions For Developing A Specific Model.” *Journal Of Cleaner Production* V. 139, P. 828–846.2016.
- Resta, B., Dotti, S., Gaiardelli, P., Boffelli, A.. How Lean Manufacturing Affects The Creation Of Sustainable Value: An Integrated Model. *International Journal Of Automation Technology*. V.11. P. 542-551. 2017.
- Thanki, S., Govinda, K., Thakkar, J.. An Investigation On Lean-Green Implementation Practices In Indian Smes Using Analytical Hierarchy Process (Ahp) Approach. *Journal Of Cleaner Production*, V.135, P.284–298.2016.
- Verrier, B., Rose, B., Caillaud, E., Remit, H. . Combining Organizational Performance With Sustainable Development Issues: The Green And Lean Project Benchmarking Repository. *Journal Of Cleaner Production*. V.85,P; 83-93.2014.
- Thanki, S.J., Thakkar, J. nterdependence Analysis Of Lean-Green Implementation Challenges: A Case Of Indian Smes. *Journal Of Manufacturing Technology Management*. V. 29, P.295–328.2018.
- Tayyab, M., Sarkar, B., Ullah, M. . Sustainable Lot Size In A Multistage Lean-Green Manufacturing Process Under Uncertainty. *Mathematics*, 7(1):20.2019.
- Manikas, A.S., Kroes, Kroes, J.R. (2018) The Relationship Between Lean Manufacturing, Environmental Damage, and firm Performance; *Letters In Spatial And Resource Sciences*. V.11, 141-155.2018.
- Paranitharan, K. P, Ramesh Babu, T, Pal Pandi A., Jeyathilagar D. An Empirical Validation Of Integrated Manufacturing Business Excellence Model. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology* 92, 2569–2591.2017.
- Johnshon, D.M., Sun, J., Johnson, M.A., “Integrating Multiple Manufacturing Initiatives: Challenge For Automotive Suppliers”, *Measuring Business Excellence*, Vol. 11 No. 3, Pp. 41-56.2007.
- Faulkner, W., Baburdeen, F., 2014. Sustainable Value Stream Mapping (Susevsm): Methodology To Visualize And Assess Manufacturing Sustainability Performance. *Journal Of Cleaner Production*. V.85, P. 8-18.
- Ishak, A., Mohamad, Et Al. (2018). Cleaner Production Implementation In An E-Waste Recovery Plant By Using The Value Stream Mapping. *Journal Of Advanced Manufacturing Technology*. 12. 55-68.
- Leme Júnior, R.D., Nunes, A.O., Costa, L.B.M., Silva, D.A.L., 2018. Creating Value With Less Impact: Lean, Green And Eco-Efficiency In A Metalworking Industry Towards A Cleaner Production. . *Journal Of Cleaner Production*. V.196, P.517–534.
- Karaulova, T., Bashkite, V. . (2016). Decision-Making Framework For Used Industrial Equipment. *Engineering Economics*. V.27.
- Fahad, M., Et. Al. Energy Management In A Manufacturing Industry Through Layout Design. *Procedia Manufacturing*, 2017, V. 8, P.168–174
- Chiappetta-Jabbour, Et. Al. 2013. Environmental Management And Operational Performance In Automotive Companies In Brazil: The Role Of Human Resource Management And Lean Manufacturing. *J. Clean. Prod.* 47, 129e140.
- Green, K. W. , Inman, R. A., Sower, V. E., Zelbst, P. J. Z., (2019) "Impact Of Jit, Tqm And Green Supply Chain Practices On Environmental Sustainability", *Journal Of Manufacturing Technology Management*, Vol. 30 Issue: 1, Pp.26-47,
- Sant’anna, P. R. Et Al. Implementation Of Lean And Green Practices: A Supplier-Oriented Assessment Method. *Production Engineering*, V. 11, N. 4, P. 531–543, 2017.
- Cheung, W.M., Leong, J.T.; Vichare, P. Incorporating Lean Thinking And Life Cycle Assessment To Reduce Environmental Impacts Of Plastic Injection Moulded Products. *Journal Of Cleaner Production*, 2017, V.67, P.759–775.
- Vinodh, S., Ben Ruben, R., Asokan, P.. 2015. “Life Cycle Assessment Integrated Value Stream Mapping Framework To Ensure Sustainable Manufacturing: A Case Study.” *Clean Technologies And Environmental Policy* 1–17.
- Prasad, S., Khaduja, D., Harma, S. K. (2016), “An Empirical Study On Applicability Of Lean And Green Practices In The Foundry Industry”, *Journal Of Manufacturing Technology Management*, Vol. 27 No. 3, Pp. 408-426.
- Inman, R. A., Green, K. W.. 2018. “Lean And Green Combine To Impact Environmental And Operational Performance.” *International Journal Of Production Research*, V.56 Issue 14, P. 4802-4818.
- Ramos, A.R.; Espíndola Ferreira, J.C.; Kumar, V.; Garza-Reyes, J.A.; Cherrafi, A. A Lean And Cleaner Production Benchmarking Method For Sustainability Assessment: A Study Of Manufacturing Companies In Brazil. *Journal Of Cleaner Production* 2018, V.177, P. 218–231.
- Sartal, A., Martínez-Serra, A. I., Cruz-Machado, V., . Are all lean principles equally ecofriendly? A panel data study. *Journal of Cleaner Production*. v.177,p. 362-370.2018.
- Goti, A., De La Calle, A., Gil, M.J., Errasti, A., Bom, P.R.D., García-Bringas, P. Development and application of an assessment complement for production system audits based on data quality, IT infrastructure, and sustainability. *Sustainability* 2018, 10, 4679.
- ioppolo, g., cucurachi0, s., salomone, r.; saija, Saija, G., CIRAOLLO, L. Industrial Ecology and Environmental Lean Management: Lights and Shadows. *Sustainability* 6, 6362–6376.2014.
- Zhu, Q., Johnson S., Sarkis, J.. “Lean six Sigma and Environmental Sustainability: A Hospital Perspective.” *Supply Chain Forum: An International Journal* 19 (1): 1–17.2018.
- Ugarte, G. M., Golden, J. S., Dooley, K. J. Dooley. 2016. Lean versus Green: The Impact of Lean Logistics on Greenhouse Gas Emissions in Consumer Goods Supply Chains.” *Journal of Purchasing and Supply Management* 22 (2): 98–109.2016.
- Cherrafi, A., Garza-Reyes, J.A., Kumar, V., Mishra, N., Ghobadian, A., Elfezazi, S. Lean green practices and process innovation: a model for green supply chain performance. *International Journal of Production Economics*. v.206,p. 79–92.2018.
- Fercoq, A., Lamouri, S., Carbone, V., Lean/Green integration focused on waste reduction techniques. *Journal of Cleaner Production*. v.137, p.567–578.2016.
- Aguado, S., Álvarez, R., Domingo, R., Model of efficient and sustainable improvements in a lean production system through processes of environmental innovation *Journal of Cleaner Production*. v.47,p. 141-148.2013.
- Brown, A., Admundson, J., Baburdeen, F., Sustainable value stream mapping (Sus-VSM) in different manufacturing system configurations: application case studies, *Journal of Cleaner Production*, v. 85, p. 164-179.

- Longoni, A., Golini, R., Cagliano, R. The role of New Forms of Work Organization in developing sustainability strategies in operations. *International Journal of Production Economics*, v.147, p.147-160.2014.
- Simpson, D., Power, D.J. Use the supply relationship to develop lean and green suppliers. *Supply Chain Management: An International Journal* v.10, p. 60-68.2005.
- Kurdve, M., Shahbazi, S., Wendin, M., Bengtsson, C., Wiktorsson, M. Waste flow mapping to improve sustainability of waste management: a case study approach. *Journal of Cleaner Production*, v.98, p.304-315.2015.
- Muller, E., Stock, T., Schillig, R. A Method to Generate Energy Value-Streams in Production and Logistics in Respect of Time- and Energy-Consumption, *Production Engineering*, v.8 ,p.243-251.2014.
- Vinodh, S., Ramesh, K., Arun, C. S. "Application of interpretive structural modelling for analysing the factors influencing integrated lean sustainable system", *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vol. 18 No. 2, pp. 413-428.2016.
- Wiengarter, F., Fynes, B., Onofrei, G. Exploring synergetic effects between investments in environmental and quality/lean practices in supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*. v.18 , p.148 – 160.2013.
- Pham, D. T., Thomas, A. J. Fit Manufacturing: A Framework for Sustainability. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v.23, p.103-123.2012.
- Bem Ruben R., Vinodh S., Asokan P."ISM and Fuzzy MICMAC application for analysis of Lean Six Sigma barriers with environmental considerations", *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 9 Issue: 1, pp.64-90.2018.
- Lyon, S., Quesada, Pineda H., Crawford, S.D. Reducing Electrical Consumption in the Forest Products Industry Using Lean Thinking. *BioResources*. p.1373-1386.2014.
- Vinodh, S., Arvind, K.R., Somanathan, M.. Tools and techniques for enabling sustainability through lean initiatives. *Clean Technologies and Environmental Policy* v.13, p.469-479. 2011.

Desempenho de misturas binárias e ternárias de gasolina, biogolina e etanol em motores de ignição comandada

Luis Durão, Joaquim Costa, Francisco Brito, Jorge Martins, Margarida Gonçalves

Luis Durão
MEtRICs – Departamento de Ciências e Tecnologia da Biomassa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Caparica, Portugal
VALORIZA, Instituto Politécnico de Portalegre, Portugal
0000-0003-3178-0081

Jorge Martins
Mechanical Engineering and Resources Sustainability Center, Mechanical Engineering Department, University of Minho, Guimarães, Portugal
0000-0003-2163-8030

Joaquim Costa
Mechanical Engineering and Resources Sustainability Center, Mechanical Engineering Department, University of Minho, Guimarães, Portugal
0000-0001-6002-1194

Margarida Gonçalves
MEtRICs – Departamento de Ciências e Tecnologia da Biomassa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Caparica, Portugal
0000-0002-0940-519X

Francisco Brito
Mechanical Engineering and Resources Sustainability Center, Mechanical Engineering Department, University of Minho, Guimarães, Portugal
0000-0002-0252-9413

Neste trabalho foram testados e avaliados quatro combustíveis, obtidos da mistura de gasolina simples com biogolina e etanol, num motor de ignição comandada.

Os testes foram realizados num banco potência à carga máxima. O binário e o rendimento foram determinados para as seguintes misturas – gasolina simples aditivada com 10 %m/m de biogolina, 10 %m/m de etanol e uma mistura de 5 %m/m de biogolina + 5 %m/m de etanol; por fim, procedeu-se à comparação dos resultados das misturas com a gasolina. A composição e as propriedades da biogolina foram determinadas e comparadas com as dos outros combustíveis.

Comparando com a gasolina, verifica-se que: a) as misturas que incluem etanol na sua formulação são as que apresentam melhor desempenho; b) para velocidades de motor até às 5000 rpm a mistura binária de 90% de gasolina + 10% de biogolina apresenta valores de binário mais elevados; e para velocidades de motor entre as 3000 e as 3500 rpm esta mistura binária alcança um rendimento comparável ou mais elevado.

Os resultados dos testes mostram que a biogolina utilizada como aditivo da gasolina, é tecnicamente viável como alternativa ou como complemento ao etanol, contribuindo para o aumento da fração renovável dos combustíveis para motores de combustão.

Palavras chaves— Bio-óleo de lípidos, biogolina e motor de ignição comandada.

I. INTRODUÇÃO

Os automóveis são parte importante da vida de muita gente e as indústrias conexas são fontes de emprego e crescimento. Os motores de combustão interna continuarão a ser o principal meio de propulsão dos automóveis no futuro próximo. Em 2050 mais de metade dos veículos ligeiros de passageiros vendidos no mundo continuarão a ser equipados com motores de ignição comandada (MIC) (gasolina, CNG/LPG e híbridos a gasolina) [1].

As emissões de CO₂ (principal gás com efeito de estufa), omnipresentes nos motores de combustão, estão associadas ao consumo de combustível [2], [3]. Os MIC a gasolina operam com rendimentos efetivos próximos dos 30% [4].

Os biocombustíveis são usados principalmente no sector dos transportes [5]. Não é exequível substituir a totalidade do consumo de combustíveis fósseis por biocombustíveis [6]–[9]. A utilização de biocombustíveis constituirá uma solução a prazo, porque o futuro é isento de carbono. Os biocombustíveis são neutros do ponto de vista das emissões de CO₂ e podem ser utilizados misturados ou puros em motores [10]. A formulação de combustíveis com incorporação de biocombustíveis permite aos veículos alcançarem reduções importantes nas emissões [11].

As necessidades energéticas do sector dos transportes são suficientemente grandes e diversificadas; não haverá uma solução energética única para as matérias-primas e para os processos de conversão. As alterações produzidas nos padrões de consumo têm-se traduzido na produção maciça de resíduos. Muitos resíduos não têm valor económico no contexto em que são gerados, causam problemas ambientais antes da sua eliminação. É neste contexto que se procuram valorizar os resíduos lipídicos [12]. Por outro lado, estão identificados vários processos (fermentação, transesterificação, pirólise, gaseificação) de valorização energética da biomassa extremamente atraentes [13]–[16]. Através da pirólise procura-se valorizar resíduos lipídicos de má qualidade e obter um biocombustível qualitativamente mais avançado que os de primeira geração. Estas duas opções (resíduos lipídicos e pirólise) estiveram presentes na produção do biocombustível usado neste trabalho.

A utilização de gasolina aditivada com álcool é uma prática “antiga” da competição automóvel. Chansuria e Mandloi num trabalho de revisão, acerca do uso do etanol misturado com gasolina em MIC, concluíram haver: uma melhor eficiência volumétrica; um aumento da pressão dos gases de combustão no interior dos cilindros; um aumento da potência e da eficiência geral do motor [17].

A fração leve dos bio-óleos de pirólise, de plástico ou de pneus, foi usada misturada com gasolina em MIC. No primeiro trabalho (plástico), os autores concluíram que a incorporação de 50% de bio-óleo foi aquela que proporcionou o máximo de desempenho do motor. No segundo trabalho (pneus), os autores concluíram que a incorporação até 60% de

bio-óleo não acarretava alterações significativas no desempenho do motor [18], [19].

Kumar V. e Kumar R. usaram bio-óleos de pirólise de resíduos plásticos (BPP) num MIC de três cilindros. Usaram gasolina aditivada com 15% de BPP e com 0 e 5% de etanol. A mistura binária com 15% de BPP piorou a eficiência térmica do motor. A adição de etanol (mistura ternária) permitiu melhorar o desempenho do motor comparativamente à gasolina e à gasolina aditivada com 15% de BPP [20].

Concluindo, as misturas binárias envolvendo gasolina e álcool são comuns. O uso de misturas binárias envolvendo gasolina e destilados de bio-óleo de pirólise começam a surgir na literatura. Mais recentemente surgiu o uso de misturas ternárias envolvendo a gasolina, o bio-óleo e o etanol. As experiências citadas descrevem o uso de bio-óleos provenientes de resíduos de plástico ou de pneus. Nenhum dos materiais usados têm cariz renovável e são da família dos hidrocarbonetos.

Este trabalho experimental tem como objetivo avaliar o desempenho (binário e eficiência energética) associado ao uso da gasolina aditivada com biogolina (destilados leves obtidos dos bio-óleos de pirólise de lípidios residuais) e etanol num motor de IC. A avaliação procura validar a aplicação destes destilados como suplemento da gasolina.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

As misturas de gasolina, biogolina e etanol foram preparadas de acordo com as proporções indicadas no quadro 1. Para cada teste foram preparados seis kg de combustível.

Quadro 1 – Composição dos combustíveis usados nos testes de motor.

Código da mistura	G100	G90BG10	G90BG5E5	G90E10
Gasolina simples (G)	100	90	90	90
Biogolina (BG)		10	5	
Etanol (E)			5	10

A gasolina simples (RON 95, não aditiva) foi comprada num distribuidor de combustível local e o etanol 96 %v/v foi fornecido por LabChem, Portugal. A biogolina é produto nosso obtido da primeira fração dos bio-óleos de pirólise de resíduos lipídicos, destilado entre a temperatura ambiente e 195°C.

Os testes dos combustíveis foram realizados num motor a gasolina 1.6i 16v do grupo PSA de quatro cilindros que manteve as características de fábrica inalteradas, exceto pela falta do conversor catalítico. As especificações técnicas do motor são as seguintes: cilindrada 1587 cm³, diâmetro 78.5 mm x curso 82.0 mm, 16 válvulas, taxa de compressão 10.8:1, sistema de injeção “multipoint”, turbocompressor, potência máxima 87 kW @ 6600 rpm e binário máximo 145 N.m @ 5200 rpm [21].

Para além do motor, o banco potência possui um dinamómetro de frenagem (Telma AD61-55). O motor foi controlado por uma “Unidade de Controlo Eletrónico” 100% programável, que permitiu mapear a injeção e a ignição.

Os testes foram sempre realizados à carga máxima (modo WOT “Wide Open Throttle”), elevando-se a rotação do motor das 2000 até às 6000 rpm em incrementos de 500 rpm. Para cada combustível e para cada velocidade de rotação, o avanço da ignição foi ajustado ao binário máximo de frenagem

(MBT) sem knock. Os registos de dados ocorreram após a estabilização (cerca de 30s) do motor e cada registo durou 20 segundos.

Os combustíveis utilizados nos testes de motor foram caracterizados quanto à densidade, composição elementar, poder calorífico superior e inferior. A composição elementar (concentrações de C, H, N e S) foi determinada utilizando um analisador ThermoFisher Scientific Flash 2000 CHNS-O. O poder calorífico superior (PCS) foi determinado utilizando um calorímetro IKA C200, uma estação de pressurização de oxigénio da atmosfera reacional IKA C248 e cápsulas de gel IKA C9. O poder calorífico inferior (PCI) foi estimado (ASTM D249, 2002).

A biogolina foi analisada por cromatografia gasosa e espectrometria de massa (Focus GC, PolarisQ MS, Thermo). Os principais hidrocarbonetos foram identificados por co-injeção dos padrões correspondentes.

A espectroscopia de absorção de infravermelho por transformada de Fourier (Nicolet iS10, espectrofotómetro Thermo Scientific) foi usada para identificar os grupos funcionais presentes na biogolina e na gasolina.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Caracterização dos combustíveis utilizados nos testes

As propriedades dos combustíveis utilizados nos testes de motor são apresentadas no quadro 2.

Quadro 2 – Propriedades dos combustíveis utilizados nos testes de motor.

Combustíveis	Densidade (g.cm ⁻³)	PCS (MJ.kg ⁻¹)	Composição elementar (%m/m)					PCI (MJ.kg ⁻¹)
			C	H	N	S	O	
Gasolina simples	0.75	42.6	86.2	12.4	0.0	0.0	1.4	40.0
Biogolina	0.85	42.2	83.1	13.6	0.0	0.0	3.3	39.4
Etanol	0.80	27.5	46.9	13.1	0.0	0.0	38.0	24.6

O quadro 3 mostra os valores do poder calorífico inferior (PCI) das misturas [4].

Quadro 3 – PCI das misturas de combustíveis.

Misturas	PCI (MJ.kg ⁻¹)
G100	40.0
G90BG10	39.9
G90BG5E5	39.2
G90E10	38.4

A figura 1 mostra o perfil cromatográfico da biogolina.

O perfil cromatográfico da biogolina mostra presença de uma grande quantidade de compostos orgânicos com estrutura molecular distribuídos entre C9 e C19. Os compostos com menos de 9 carbonos não são detetáveis na análise em solução porque se situam na zona de inibição da integração para eliminação do solvente, no entanto sabe-se que estão presentes pois decorrem do mesmo processo reacional.

Na figura 2 são apresentados os espectros de infravermelhos (IV) da gasolina simples e da biogolina.

Da análise dos espectros pode-se concluir que: a) a biogolina é constituída predominantemente por alcanos e cicloalcanos, ácidos carboxílicos, alcanos e alguns aromáticos; b) a gasolina tem presença de alcanos leves, uma

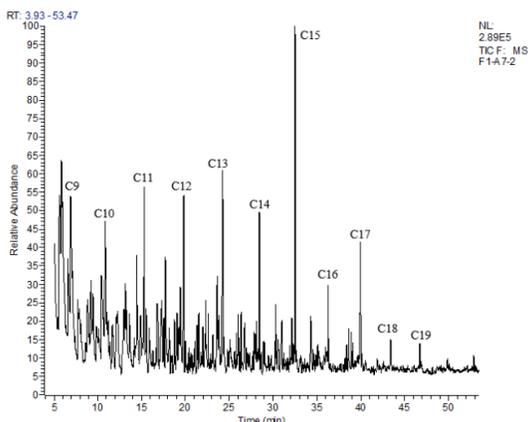


Figura 1 – Perfil cromatográfico da biogasolina.

fraca presença de cicloalcanos e presença maioritária de compostos aromáticos.

B. Testes de desempenho

A figura 3 mostra as curvas de binário e de avanço da ignição para MBT para as diferentes misturas de combustíveis.

A G90E10 mostra sempre valores de binário melhores e avanços de ignição maiores que as restantes misturas.

A G90BG5E5 apresenta binário mais alto em toda a gama de rotações do motor em comparação com a G100 exceto a 5500 rpm. A curva de binário da G90BG5E5 é também mais alta que a da G90BG10.

A G90BG10 tem valores de binário ligeiramente maiores que a G100 até cerca de 5000 rpm (mas valores mais baixos para velocidades de rotação mais altas) e avanços de ignição ligeiramente inferiores à G100.

As duas misturas que incluem etanol na sua formulação são as que apresentam melhor desempenho e deve estar associado ao maior calor latente (que acarreta um fluxo de massa de ar e de energia superior) e ao maior número de octano (que permite avanços da ignição mais longos) do etanol.

A adição de biogasolina parece melhorar a velocidade de combustão até às 5000 rpm. Para velocidades de motor mais elevadas, o efeito da turbulência sobrepõe-se à da velocidade de combustão.

Na figura 4 são mostradas as variações de potência efetiva das diferentes misturas em relação à G100.

Esta figura mostra que, com a adição de 10% de etanol, há uma melhoria em todas as velocidades, enquanto a adição de 5% e 10% de biogasolina apenas melhora o motor até 5000 rpm. Isso parece mostrar evidências do que foi referido sobre a velocidade de combustão e a turbulência. Enquanto a G90E10 mantém o ganho para toda a gama de velocidades, os ganhos do G90BG5E5 e do G90BG10 diminuem com o aumento da velocidade.

A figura 5 mostra o rendimento efetivo (η_e) das diferentes misturas testadas.

Embora a G100 apresente um rendimento genericamente superior à das outras misturas, para velocidades de motor entre

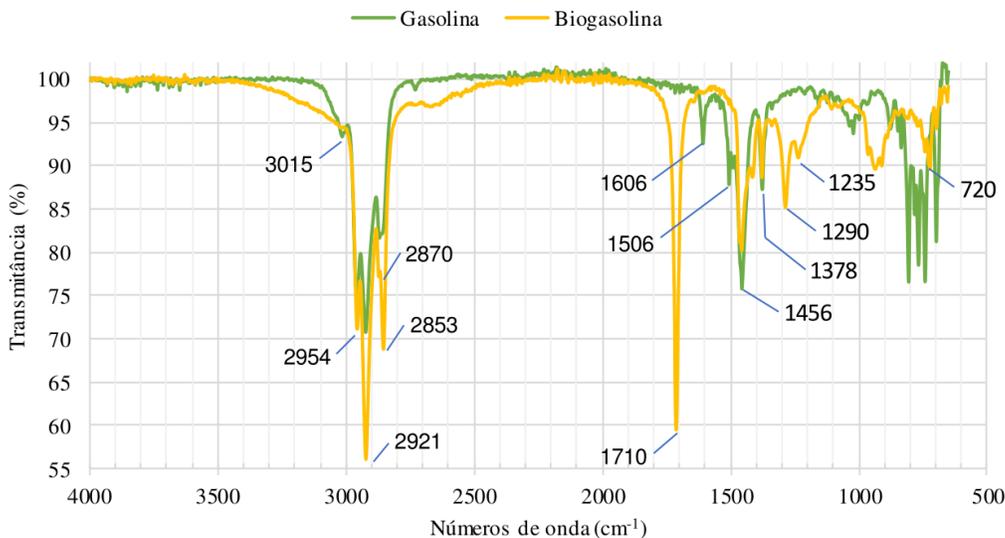


Figura 2 – Espectro de IV da gasolina e da biogasolina.

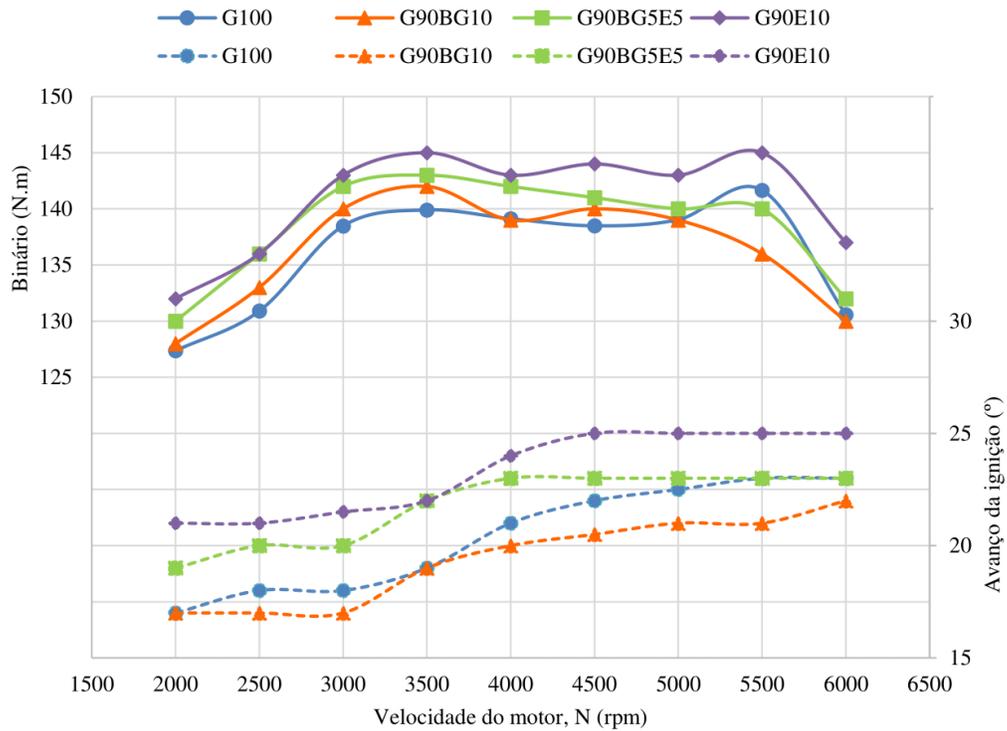


Figura 3 - Curvas de binário e de avanço da ignição para MBT para diferentes misturas de combustíveis.
 Legenda: As curvas a cheio são do binário e a tracejado são do avanço da ignição

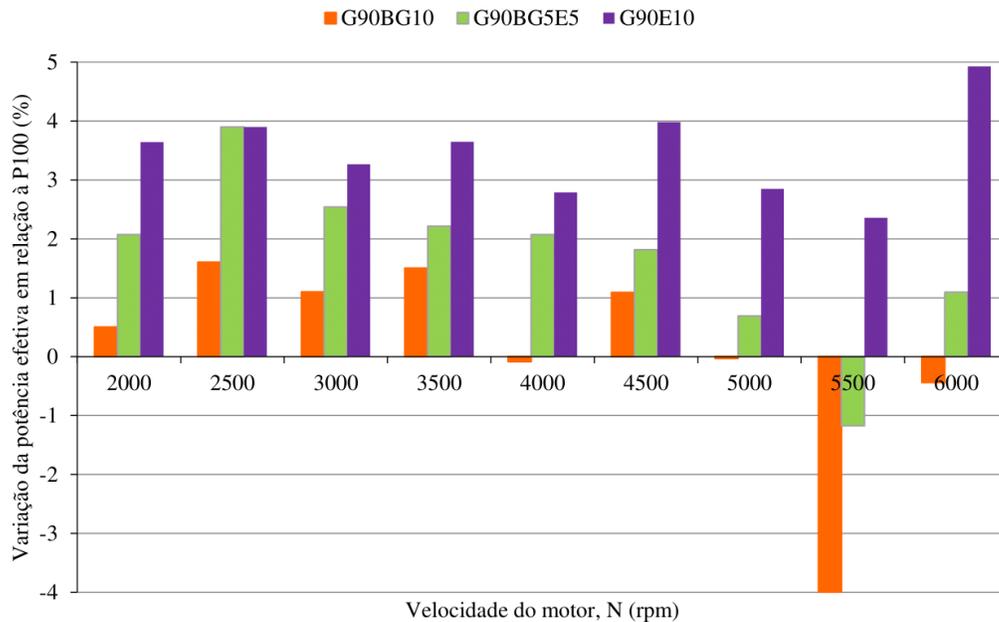


Figura 4 – Variação da potência efetiva das misturas relativamente à G100.

as 3000 e as 3500 rpm a mistura G90BG10 alcança

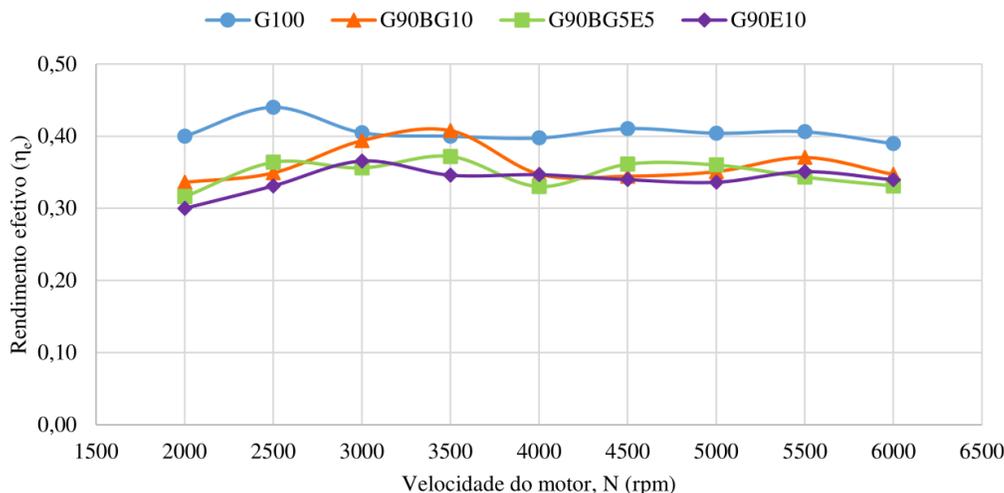


Figura 5 - Rendimento efetivo das misturas.

rendimentos comparáveis ou até mais elevados.

Como foi visto anteriormente para a mistura G90E10, apesar de ter havido um aumento de potência o rendimento efetivo do mesmo foi reduzido; o aumento de potência decorre do aumento de consumo de energia.

IV. CONCLUSÕES

A biogasolina conta com presença de menos aromáticos que a gasolina simples e compostos pesados acima de C12 em larga percentagem. Com um processo seletivo adequado (uso de catalisadores e destilação mais ajustada), podemos obter uma biogasolina com desempenhos iguais ou até superiores à gasolina.

Verificou-se que o uso de biogasolina misturada com gasolina apresentou valores de binário superiores ao da gasolina até às 5000 rpm e rendimentos na gama de velocidades de motor entre as 3250 e as 3750 rpm também superiores aos da gasolina.

Os testes em motor permitiram validar a principal aplicação que se pretendia desenvolver - a possibilidade de usar frações leves dos bio-óleos de pirólise como um aditivo da gasolina. O uso da biogasolina como combustível não parece ter sacrificado o desempenho do MIC.

REFERÊNCIAS

- [1] P. Cazzola, "Insights emerging from the 2015 Global EV Outlook (IEA)," *IEA*, 2015.
- [2] P. Coelho and M. Costa, *Combustão*. Orion, 2007.
- [3] J. Martins, *Motores de Cobustão Interna*, 5ª Edição. Engebook, 2016.
- [4] W. W. Pulkrabek, *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1997.
- [5] EurObserv'ER, "Biofuels Barometer," *Syst. Solaires*, vol. 210, pp. 3–30, 2012.
- [6] G. Bemdes, M. Hoogwijk, and R. Van Den Broek, "The contribution of biomass in the future global energy supply: A review of 17 studies," *Biomass and Bioenergy*, vol. 25, no. 1, pp. 1–28, 2003.
- [7] I. Juergens, "Can biofuels make a significant contribution to sustainable energy supply? – Agriculture, Food Security – 1. The scope for bioenergy development – global trends 3. Conclusions - Outlook – Way Forward Bioenergy supply in 2004 (according to IEA 2006)," 2007.
- [8] B. M. Junginger, A. Faaij, F. Rosillo-calle, and J. Wood, "The growing role of biofuels - opportunities, challenges and pitfalls," *Int. Sugar J.*, vol. 108, no. 1295, pp. 618–629, 2006.
- [9] E. M. W. Smeets, A. P. C. Faaij, I. M. Lewandowski, and W. C. Turkenburg, "A bottom-up assessment and review of global bioenergy potentials to 2050," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 33, no. 1, pp. 56–106, 2007.
- [10] G. Elsbett and M. Bialkowski, "Engines running on pure vegetable oil as regrowing fuel - History, Development, Experience, Chances," 2003.
- [11] R. L. Mc. NREL, "Biodiesel Handling and Use Guide: Fourth Edition (Revised)," no. December, pp. 1–56, 2008.
- [12] The European Parliament and the Council of the European Union, "Directive 2015/1513 of the European Parliament and of the Council - ILUC," *Off. J. Eur. Union*, vol. 2014, no. September, pp. 20–30, 2015.
- [13] A. V. Bridgwater, "The technical and economic feasibility of biomass gasification for power generation," *Fuel*, vol. 74, no. 5, pp. 631–653, 1995.
- [14] F. Ma and M. A. Hanna, "Biodiesel production: a review," *Bioresour. Technol.*, vol. 70, pp. 1–15, 1999.
- [15] P. McKendry, "Energy production from biomass (part 3): gasification technologies," *Bioresour. Technol.*, vol. 83, no. 1, pp. 55–63, 2002.
- [16] G. W. Huber, S. Iborra, and A. Corma, "Synthesis of transportation fuels from biomass: Chemistry, catalysts, and engineering," *Chem. Rev.*, vol. 106, no. 9, pp. 4044–4098, 2006.
- [17] P. Chansauria and R. K. Mandloi, "Effects of Ethanol Blends on Performance of Spark Ignition Engine-A Review," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 2, pp. 4066–4077, 2018.
- [18] H. F. Öztop, Y. Varol, Ş. Altun, and M. Firat, "Using gasoline-like fuel obtained from waste automobile tires in a spark-ignited engine," *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 36, no. 13, pp. 1468–1475, 2014.
- [19] K. V. Kumar, R. K. Puli, A. Swarna Kumari, and P. Shailesh, "Performance and Emission Studies of a SI Engine using Distilled Plastic Pyrolysis Oil-Petrol Blends," *MATEC Web Conf.*, vol. 45, p. 03002, 2016.
- [20] K. Kumar and R. Kumar, "Influence of plastic oil with ethanol gasoline blending on multi cylinder spark ignition engine,"

- Alexandria Eng. J.*, vol. 57, no. 4, pp. 2585–2589, 2018.
- [21] P. Owners Club 206cc, “TU5JP4 Technical Specifications,” *peugeot 206cc owners club*, 2019. [Online]. Available: <http://www.peugeot206cc.co.uk/repair-206/206/info/gb/b1bbmek3.htm>. [Accessed: 01-Apr-2019].

THE ATRIUM THERMAL EFFECT ON ENERGY BEHAVIOR IN BUILDINGS. AN EXPERIMENTAL CASE-STUDY

José Antonio Romero Otero, Carmen Galán Marín, Carlos Rivera Gómez

José Antonio Romero-Otero
*Departamento de Construcciones
 Arquitectónicas I.
 Escuela Técnica Superior de
 Arquitectura. University of Seville.*
 Seville, Spain.
 jrotero@us.es

Carmen Galán-Marín
*Departamento de Construcciones
 Arquitectónicas I.
 Escuela Técnica Superior de
 Arquitectura. University of Seville.*
 Seville, Spain.
 cgalan@us.es

Carlos Rivera-Gómez
*Departamento de Construcciones
 Arquitectónicas I.
 Escuela Técnica Superior de
 Arquitectura. University of Seville.*
 Seville, Spain.
 crivera@us.es

Abstract— The process of climate change has increased the planet's mean temperatures, especially in locations with warm climates, an example of which can be found in the abnormal temperatures in the cities of Córdoba and Seville in July 2018 reaching 44.3°C. In this scenario, the educational centers in Andalusia, mostly built during the 20th century, are unable to reach the thermal comfort situation inside alongside the year without resorting to mechanical air conditioning procedures. In some of these buildings, it is possible to reach very high temperatures inside the classrooms in the hottest months of the year.

This study proposes the indoor, outdoor and transitional spaces simultaneous monitoring of a case study to verify the effectiveness of the passive cooling systems and the Atrium thermal effect of the building. Field monitoring campaigns are proposed in three periods according to three main thermal ranges: winter, summer and intermediate seasons.

The selected case study is "IES Murillo" (Seville). In the winter field monitoring campaign is possible to observe the building thermal performance with medium / cold temperatures. The Atrium space turns out to be energy accumulators that help to regulate the temperature during the course of the day, inside the building. So, the tempering function of these transitional spaces is demonstrated.

This study can demonstrate that temperatures inside classrooms are influenced by the orientation and their opening direction (to the atrium or to outdoor). Finally, the last floor classrooms happen to be the ones with higher temperature increase.

Keywords— *Outdoor and indoor air temperature; Atrium monitoring; Adaptive thermal comfort; Building energy savings; Free running buildings.*

^dINTRODUCTION

At present we have a large number of built buildings inherited from the cities transformation process which, due to their constructive characteristics, move away from satisfying today's needs by

contemporary society. In the case of Spain, these buildings have been built mostly prior to the Technical Building Code (CTE) release, Spanish regulation establishing the basic requirements to be applied to new buildings [1]. Moreover, not only the comfort demands in buildings have increased, but the planet temperatures are also raised because of climate change. In areas of warm climates, the temperatures are more extreme, reaching records of around 45 ° C during the summer months of July and August.

Consequently, many complaints from the educational community have recently jumped in recent years, for being affected by the temperature increase inside the classroom. It has been frequent during the last months of the academic year (May and June) strikes and demonstrations, reaching even the suspension of the teaching. It thus necessarily arises in several Andalusian cities a new social movement called "Schools of Heat" [2], where centers, represented by the associations of mothers and fathers of the pupils (AMPA), they are mobilized by the air conditioning of the public centers, thus seeking to improve education.

In view of this new situation, it is clear that the need to achieve widespread awareness of society faced with the problems detected in schools, which due to their construction dates, seem to have become obsolete. To do this, it seeks to enhance the value and recognition of these constructions, making the population and the scientific community aware of the current state in which they are located, and to respond to the problem from the

context of adaptation to climate change in which today we find ourselves [3].

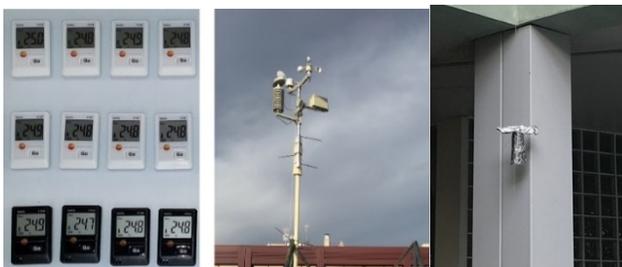
There are numerous researches that support the use of thermodynamics of transition spaces as a passive bioclimatic strategy [4-7]. These can be applied from a study focused on intervention in existing buildings in the school environment, in order to help reduce the high temperatures detected in the classroom.

In educational buildings, transition spaces are of particular importance. Depending on the level of teaching that is taught in the educational center, the space of the patio is employed with more or less intensity by the students, but in any case it is a space where horizontal relationships are established with each other, which, in one way or another, collaborate and contribute value to the learning process [8].

Therefore, the aim is to focus the results of the study of the thermodynamic behaviour of the transition spaces in the teaching buildings to adapt them to the requirements of habitability, energy and sustainable that are demanded today [9].

°MATERIALS AND METHODS

In order to carry out the experimental study of the thermodynamic functioning of the transition spaces, it is essential to know constructive and functionally the building, in such a way that we can establish the monitoring and data-taking campaigns in a suitable way. The necessary instrumentation [Fig. 1] consists of a meteorological station, to be placed in the building cover and sensors of measurement (temperature and humidity) covered with protective caps to prevent overheating of the sensor by direct radiation.



Instruments are measuring devices used for tests.

In this way the methodology of the work is stipulated as follows:

- **Presentation and definition of the case study.** This section establishes the analysis of the current state of the building. This must be of general data (name, project date, architect/s, location, orientation, climatic data, technical regulations, constructive aspects, operation, timetable,...), Planimetry, Catalog of photographs,...
- **Design of the monitoring campaign.** From all the information gathered in the preceding section, The necessary instrumentation will be established to monitor the case of study, as well as its location in the building and the space of time it shall cover.
- **Development of the monitoring campaign.** You will have to prepare the material and assemble the previously designed campaign.
- **Extraction and preparation of data obtained.** Once the measurement campaign is completed, the information collected by the material is extracted, and the process of preparing the data is done.
- **Analysis and conclusions.** As a final section, the reflections established by the results obtained throughout the course will be reflected in it.

PRESENTATION CASE-STUDY

The building selected as an experimental case study is the Public high school "IES Murillo", located in the center of the City of Seville [Fig. 2].



Case Study location _ Seville (Spain)

The building was built in 1991, under the supervision of a different regulation the existing one, therefore, different requirements were demanded in terms of user comfort and energy-saving requirements.

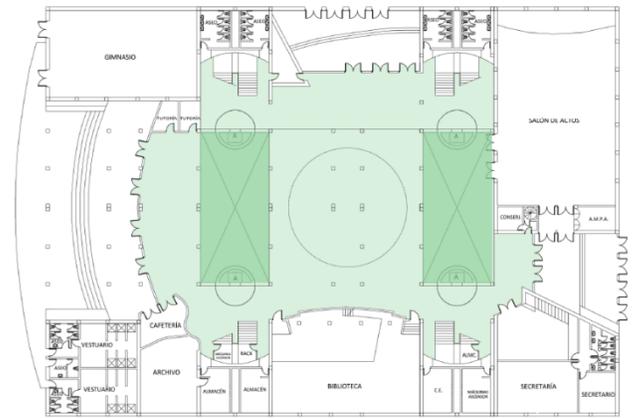
In essence, this is a 70m x 50m rectangular floor building, with two inner atriums of 18.20m x 8.40m enclosed by a polycarbonate cover of a cell (1cm). On

the ground floor, the building is organized in two longitudinal bands, hosting the most public use program (Library, cafeteria, auditorium, gymnasium,...). In the upper floors are located the classrooms and departments, distributed around the atriums, becoming these in numerous cases in the space of ventilation and entrance of natural light [Fig. 4].

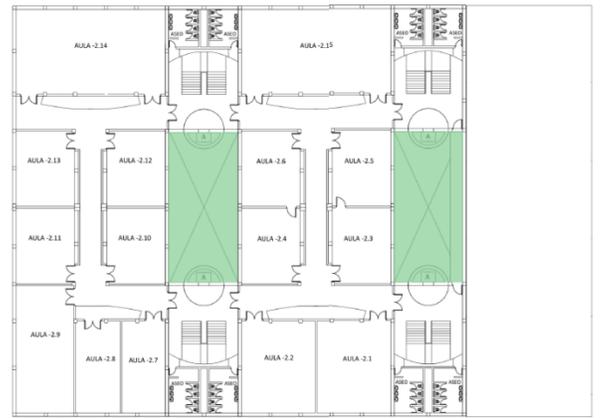
Both transitional spaces, which from now on will be called the North Atrium and the South Atrium [Fig. 3] Due to its location in the building, they will be the protagonists of the thermodynamic study to perform. These spaces, despite having openings to ventilate on the roof, are thought of the original project as interior spaces, this is why its facades have a composition of gypsum boards and air chambers, without thermal insulation. Besides, as a singularity, the northern Atrium has a large glazed surface (18.2 m x 9m) to the north, and the southern atrium has a palm tree inside.



Image of the South Atrium



Ground Floor: +0.20 m

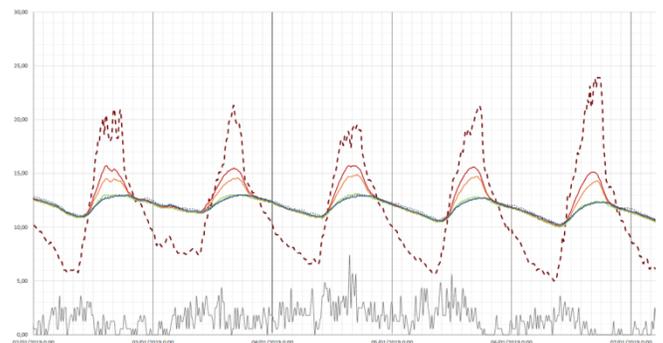


2nd Floor: +0.20 m

Set of drawings

RESULTS

Once you know the case study, designed the monitoring campaign and carried out, you can start working with the resulting data, in the first place, there are general graphs [Fig.5] of the whole period, in which all the data collected by the sensors in parallel with the data obtained by the meteorological station are represented.

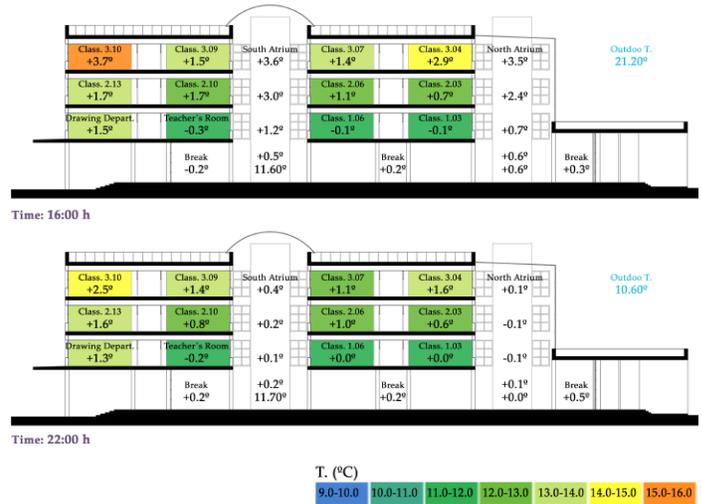
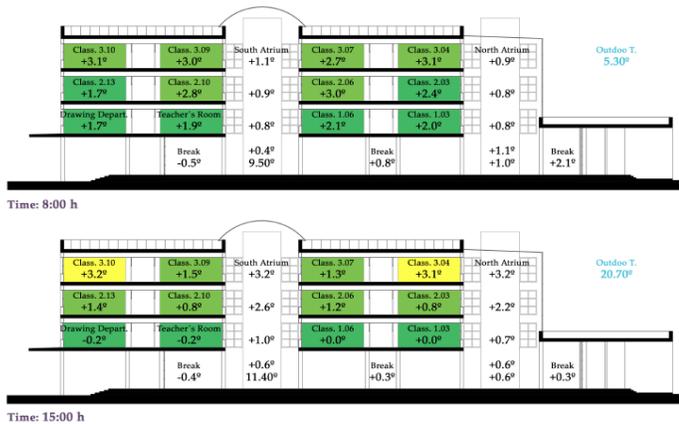


General graph for full period analysis

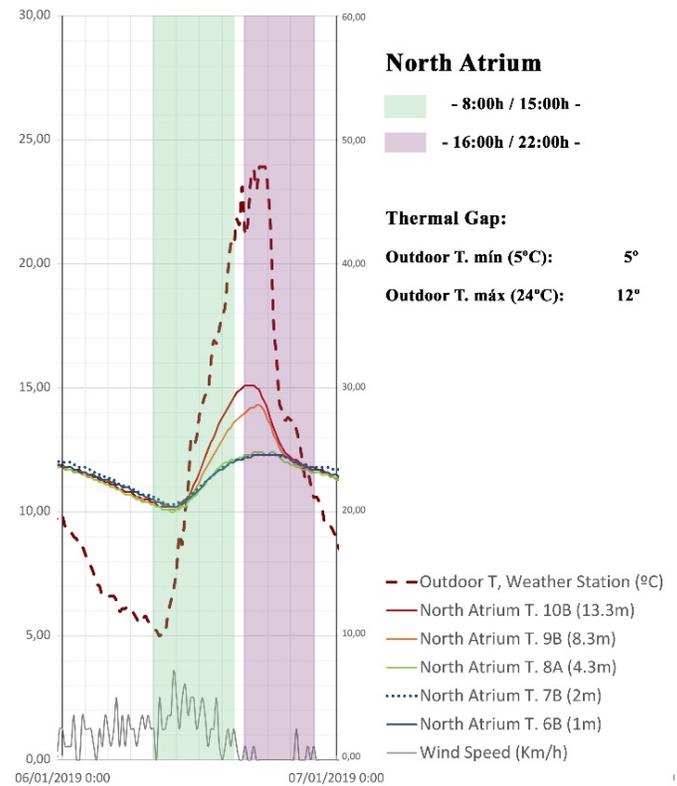
The winter campaign is the one we have done so far, which took place between the days 26/12/2018 and 08/01/2016, during the summer season, so the occupation of the building turns out to be null, so we can analyze the thermodynamic operation without additional loads. With these graphical resources, we can demonstrate the tempering function of the transition space, as well as to detect the maximum and minimum temperatures, the days with a greater gap between outdoor and atrium temperatures.

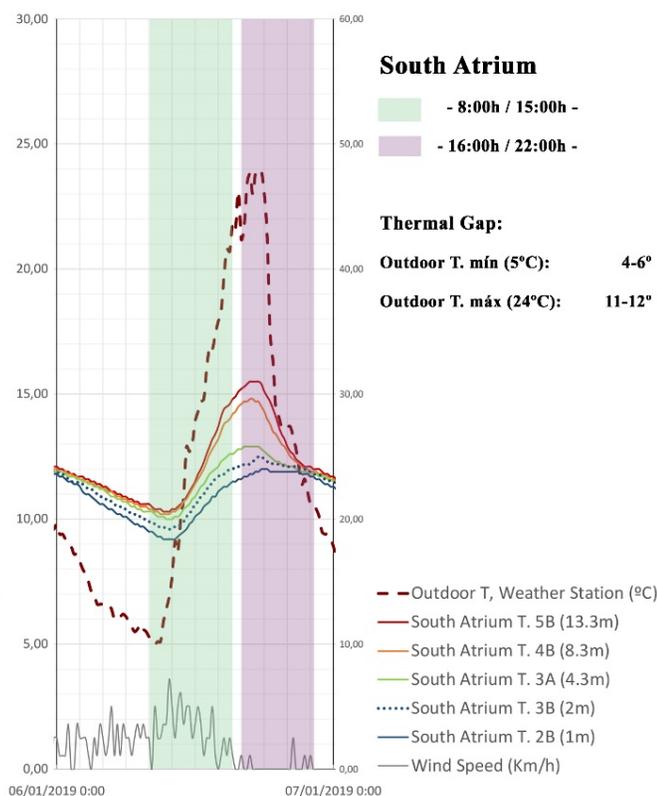
To enter more in detail, a specific day is selected, in this case, the day with greater thermal amplitude (in other words, the day that there is the most difference between the maximum and the minimum temperature); And the comparison is made between the behavior of the north and south Atriums. In this case, in particular, we selected the day 06/01/2019, which were reached in the city of Sevilla maximum temperatures of 24 ° and a minimum of 5 °. From this comparison between the two transition spaces [Fig. 6-7] We can conclude:

- The temperature inside both of them behaves constant, showing as tempering element with both cold and warm temperatures, as it does not get warm or cool as much as the outdoor.
- The existence of the polycarbonate cover along with the low ventilation and renovation of air in the atriums causes the heat to accumulate at the top of these spaces, shooting the value with respect to lower dimensions.
- No stratification is detected in the sensors located at the bottom of the North atrium, contrary to what happens in the southern atrium.



Thermal gaps correlation between classrooms and transitional spaces for the different time range





Comparative behavioral thermodynamic between the atriums.

On the other hand, if to these graphs we overlay the time slots to which classes are taught, we can relate directly as the behavior of the transition space evolves with respect to the variation of the outdoor temperature. It can even analyze the need or not of air conditioning at any time.

§ CONCLUSIONS

We reinforce the hypothesis of the tempering functioning of the transition spaces, being used as passive energy-saving tools.

It is interesting to see that the existence of a translucent cover on the transition spaces affects positively during the winter campaign because it manages to store heat during the day with the solar incidence, performing the function of energy

accumulator. It would be interesting to check the operation of this same space during the summer months, to see if it actually continues to accumulate energy, and see how much it affects the rest of the building.

^hACKNOWLEDGMENT

This work has been supported by the National Government of Spain Research Project MTM2015-64577-C2-2-R, Ministerio de Economía y Competitividad. The authors also want to thank AEMET (Agencia Estatal de Meteorología - State Meteorological Agency, Spanish Government) for the data supplied.

ⁱREFERENCES

- [1] CTE - <https://www.codigotecnico.org/>.
- [2] <http://ampasdesevilla.blogspot.es/>
- [3] EU climate action - https://ec.europa.eu/clima/citizens/eu_es
- [4] M. Taleghani, M. Tenpierik, A. van den Dobbelssteen, Environmental impact of courtyards - A review and comparison of residential courtyard buildings design in different climates, *Journal of Green Building*. 7 (2012) 113–136. Doi:10.3992/jgb.7.2.113.
- [5] J.M. Rojas, C. Galán-Marín, E.D. Fernández-Nieto, Parametric study of thermodynamics in the Mediterranean courtyard as a tool for the design of eco-efficient buildings, *Energies*. 5 (2012) 2381–2403. Doi:10.3390/en5072381.
- [6] E.Á. Rodríguez Jara, F.J. Sánchez de la Flor, S. Álvarez Domínguez, J.M. Salmerón Lissén, A. Rincón Casado, Characterizing the air temperature drop in Mediterranean courtyards from monitoring campaigns, *Sustain*. 9 (2017). Doi:10.3390/su9081401.
- [7] M. A. Cantón, C. Ganem, G. Barea, J. Fernández-Llano, Courtyards as a passive strategy in semi-dry areas. Assessment of summer energy and thermal conditions in a refurbished school building, *Renewable Energy* 69 (2014) 437e446. Doi:10.1016/j.renene.2014.03.065.
- [8] E. Burman, J. Kimpian, D. Mumovic, Building Schools for the Future: Lessons Learned From Performance Evaluations of Five Secondary Schools and Academies in England, *Frontiers in Built Environment*, (2018), 4 - 22. Doi: 10.3389/fbuil.2018.00022
- [9] *Arquitectura escolar y educación. Proyecto, Progreso, Arquitectura*. Nº 17 (2017). ISSN 2171-6897 – ISSN 2173-1616

Economic evaluation of thermo-chemical conversion of lignocellulosic and WEEE residues via thermal gasification

Roberta Mota Panizio, Luís Felipe do Carmo Calado, Octávio Alves, Bruno Garcia, Santa Margarida Santos, Paulo Sergio Duque de Brito

Roberta Mota Panizio
VALORIZA - Research Center for
Endogenous Resource
Valorisation, Polytechnic
Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal and
MEtRICs -Mechanical
Engineering and Resource
Sustainability Center,
Department of Science and
Technology of Biomass, Faculty
of Science and Technology,
Universidade NOVA de Lisboa,
Lisboa, Portugal
rpanizio@ipportalgre.pt

Bruno Garcia
VALORIZA - Research Center for
Endogenous Resource
Valorisation, Polytechnic
Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal
bruno.garcia@ipportalgre.pt

Luís Felipe do Carmo Calado
VALORIZA - Research Center for
Endogenous Resource
Valorisation, Polytechnic
Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal
luis.calado@ipportalgre.pt

Santa Margarida Santos
VALORIZA - Research Center for
Endogenous Resource
Valorisation, Polytechnic
Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal
margarida.santos@ipportalgre
.pt

Octávio Alves
VALORIZA - Research Center for
Endogenous Resource
Valorisation, Polytechnic
Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal and
MEtRICs -Mechanical
Engineering and Resource
Sustainability Center,
Department of Science and
Technology of Biomass, Faculty
of Science and Technology,
Universidade NOVA de Lisboa,
Lisboa, Portugal
octavio.alves@ipportalgre.pt

Paulo Sergio Duque de Brito
VALORIZA - Research Center for
Endogenous Resource
Valorisation, Polytechnic
Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal
pbrito@ipportalgre.pt

Abstract— The recovery of WEEE in co-gasification in mixtures of 10 and 20% with lignocellulosic residues produces a gasification gas with a calorific value of 3.5 and 5.3 MJ / kg. Maintaining a nominal load of 3 kWh during the tests. Based on the tests, economic evaluation for the two WEEE tests were performed based on the gas production and costs involved for the installation of a gasification plant and the costs for landfill and electric energy expenditure. Based on these results, for the tests with the 10% WEEE mix the investment return time is 24 years and when it is increased to 20% WEEE the return time falls to 7 years. Demonstrating that the greater the incorporation of waste, the shorter the return time of the investment.

Keywords—recovery, WEEE, lignocellulosic, gasification, economic evaluation.

I. INTRODUCTION

Changes in families' habits and standard of living, economic and technological developments, urbanization and climate change contributed to the increase in society's energy consumption [1] [2].

These changes have meant that in the last decade, the search for new technologies in cycles of use increasingly shorter has led to the appearance of different versions and updates for the same electronic product. In this way, the life of electrical and electronic equipment (EEE) has been reduced, causing a

strong increase in the amount of waste at the end of life. In 2016, for example, the amount of waste electrical and electronic equipment (WEEE) increased by 8% worldwide compared to the year 2014. In the European Union about 12.3 million ton of WEEE are generated annually constituting a row waste with potential for recovery [3] [4]. WEEE are classified by Directive 2012/19 / EU (16.06.16) as all components, subassemblies and consumables that are an integral part of the product at the time it is discarded for experiments in a co-gasification test [5].

Reducing fossil fuel reserves and global warming have led to a major search for research and development in the fields of renewable energy and waste recovery. Among alternative sources and technologies for energy production, thermochemical conversion of biomass is considered one of the most viable to achieve a sustainable future, since biomass is a carbon neutral energy and reduces our dependence on fossil fuels [6].

Among the thermochemical conversion processes (gasification, pyrolysis and combustion) the gasification has been considered the most profitable process, since it converts biomass in clean gaseous fuel products [7].

Among the various types of gasifier, namely the fixed bed, descent and rising current, and fluidized bed which is best known as a promising alternative. Fluidized milk maximizes

the yield of the gaseous product because the temperature distribution is uniform and has a high mass and heat transfer rate [8].

It should also be noted that by using biomass as an energy source, the amount of waste that is sent to landfills can be reduced, which would have a positive impact on the significant problem of waste disposal, particularly in municipal areas [9].

An economic assessment of costs and efficiencies is of extreme importance for the decision to implement the different scales and technologies for the gasification process [10].

Landfilling is therefore a lost and wasted opportunity, and if we are to offer a more sustainable economy we must do more with fewer resources [11].

The present article intends to carry out an economic evaluation for the installation of a thermal gasification plant for the recovery of lignocellulosic and WEEE residues.

II. MATERIAL AND METHODS

Two different types of biomass were used that have different chemical characteristics. The plastic coatings of electrical cables (WEEE) and the pine chips were mixed to perform the co-gasification tests.

In co-gasification, the mixture between pine and WEEE, were tested in order to investigate the synthesis gas composition and its heating value at temperatures between 800 and 960 ° C. Mixtures of pine with 0, 10 and 20 wt% of WEEE were prepared for such gasification experiments.

A. Biomass and syngas analysis

The ultimate analysis for obtaining the elemental composition of the biomass was performed in a ThermoFisher Scientific Flash 2000 CHNS-O analyzer. The analyzed elements include Carbon (C), Hydrogen (H), Nitrogen (N) and Sulfur (S).

Proximate analysis was determined by thermogravimetry carried out in a PerkinElmer STA 6000, using a nitrogen flow of 20 mL / min for inert atmosphere and a temperature growth rate of 20 ° C / min.

The calorific value is determined using a digital bomb calorimeter (model: IKA C 2000) in which samples weighing 400-600 mg was placed in the bomb calorimeter and subjected to complete combustion in an adiabatic environment.

Syngas samples collected during gasification tests were examined by gas chromatography (Varian 450-GC) to quantify the existing gas compounds and to estimate the corresponding LHV.

B. Gasification experiments

The gasification tests were performed on an AllPowerLabs PP20 Power Pallets - a gasifier with a power of 15kW, a common downdraft reactor that is combined with an electric power generator and an electronic control unit. The equipment consists of a storage silo, where the biomass is simultaneously dried by recirculating the hot gases produced in the reactor. Biomass is supplied from the top as the air moves downward, being preheated through contact with the walls of the reactor. Ash collection is performed in a separate tank in the lower part of the reactor, while the synthesis gas produced passes through a cyclone to remove the fine particles. The produced gas is still cleaned through a filter composed by biomasses of

various granulometries and can be subsequently collected for analysis or injected directly into the generator. Condensate matter is collected at the bottom of the biomass filter.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. Characterization of biomass

The values of the biomass characterization are presented in table I.

Table I. Biomass Analysis

Analysis	Parameters	Units	Biomass	
			Pine	WEEE
Proximate	Moisture	%	7,43	0,79
	Volatile Matter	%	53,61	68,4
	Fixed Carbon	%	36,36	30,51
	Ashes	%	2,6	2,3
Ultimate	Nitrogen	%	0,60	0,20
	Carbon	%	49,70	52,30
	Hydrogen	%	7,50	2,50
	Sulphur	%	0,00	0,00
	Oxygen	%	42,20	45,00
LHV		MJ/kg	18,4	22,7

The moisture content varied between 7.43% for pine and 0.8% for WEEE. The moisture content of the biomasses used in the tests were suitable for gasification applications, since the maximum moisture content admissible is 20-30%.

The high content of volatile matter present in the WEEE (68.4%) makes this residue more easily devolatilized than the low volatile matter fuels, resulting in a lower amount of fixed carbon residues. In addition, the higher the amount of volatile matter present in the biomass, the lower the amount of heat required for the thermochemical reaction. On the other hand, the lower the amount of volatile matter the lower the HHV of the biomass, as can be seen in table I.

B. Analysis of syngas and gasification performance

Table II shows the results obtained for the syngas analysis and for some gasification parameters during tests 1, 2 and 3, corresponding to the mixtures that were used (100 wt% pine, 90 wt% + 10 wt% WEEE and 80 wt% pine + 20 wt% WEEE).

Table II. Gasification results

Para.	Units	Test 1		Test 2		Test 3	
Pine	% m/m	100		90		80	
WEEE	% m/m	0		10		20	
T _{oxi}	°C	760	751	883	889	958	940
T _{red}	°C	505	492	613	625	607	664
B.Cons.	kg/2h	10					

G. Load	kW/h	3					
Tars	l/2h	0,47		0,12		0,01	
Chars	kg/2h	0,62		0,56		0,28	
CO ₂	% mol	12,4	12,5	11,8	14,0	13,0	15,5
C ₂ H ₄	% mol	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2	0,2
C ₂ H ₆	% mol	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N ₂	% mol	58,6	61,3	49,6	46,8	59,7	52,9
CH ₄	% mol	5,9	2,3	3,8	3,0	1,2	1,1
CO	% mol	12,1	11,8	14,6	14,6	13,9	13,1
H ₂	% mol	12,2	10,7	18,5	20,0	12,1	13,1
LHV	MJ/m ³	5,0	3,5	5,3	5,2	3,5	3,5

The results showed that it is feasible to use this type of gasifier in order to carry out the environmental assessment of the WEEE. The Hydrogen, Carbon Monoxide and Methane are the main gases responsible for the LHV of syngas. The high percentage of Nitrogen is due to the fact that co-gasification has been carried out with atmospheric air.

Test 2 has the best LHV, between 5.3 and 5.2 MJ / m³. A higher percentage of carbon monoxide and hydrogen is also associated. The higher amount of volatile matter present in test 3 may explain its reduction in calorific value.

IV. ECONOMIC EVALUATION FOR THE INSTALLATION OF A GASIFIER

The gasifier was based on a fixed bed type, mounted with a gas engine and with a possibility for the future installation of a module for recovering thermal energy connected to the motor. An efficiency of 18% for electrical energy yield was obtained during the co-gasification tests.

It was considered that the electricity purchased from the national company will be replaced by the energy produced by the company itself through the valorization of its waste.

The analysis used the results of the gasification tests performed previously, considering the amount of waste that the company produces and the calorific power of the synthesis gas. These data was used to estimate the revenues that the company will have with the use of the electric energy produced through co-gasification.

The company has a production of approximately 900 kg / month of WEEE. These wastes are sent to landfill, where the current amount paid for the deposit is at 9.9 € / ton, with an annual readjustment of 1.12 per year [12].

Price of electric energy that was paid is 0.29 Eur/kWh [13]. The company spends approximately 40,000 kWh / month with an annual electricity expense of 139 thousand euros.

Taking into account the type of gasification unit that was used during the tests, it is estimated that the cost for an equipment installation is 3000 € / kW [14] [15].

The company works from Monday to Friday for 12 hours. For calculations of gasifier usage, it was assumed 252 days of operation per year and a 10-hour operation per day.

A. Economic evaluation – formulas

To determine the energy contained in the biomass (HV), formula 1 was applied (kWth / kg of biomass) [16].

$$HV = \left(\frac{LHV \cdot v}{3,6 \cdot \text{biomass consumption}} \right) \quad (1)$$

Where: LHV_{syngas} is the lower heating value of the produced syngas (MJ/m³); V_{syngas} is the volume of syngas produced in one hour (m³/h) and M_{syngas} is the amount of biomass consumed to produce the syngas (kg/h).

To determine the amount of energy produced in a year, formula 2 is used.

$$Wy = \left(\frac{Ethy}{Et} \right) * \eta \quad (2)$$

Where: Et is the number of hours of operation (h / year); η is the electrical efficiency of the biomass plant (%); Wy is equivalent to the electric energy produced in one year in (kWe) and Ethy corresponding to the thermal energy of waste and biomass to be used as raw material for the biomass plant (in kWh / year), which is given by formula 3.

$$Ethy = \frac{By}{Eth} \quad (3)$$

In order to evaluate the time of return on investment, the following economic parameters were used: Net Present Value (NPV) and Payback Period (PP).

NPV can be defined as the sum of the present values of the cash flows received (benefits) and output (costs) over the period of time considered for the project. The NPV can be determined by:

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{[R_E - TOC]_t}{(1+i)^t} - TCI \quad (4)$$

Where N is the duration of the project; RE is the annual revenue; TOC are the total costs of operation (€ / year), including waste, operation and maintenance costs; i is the discount rate and TCI is the total investment cost.

The project is accepted if NPV>0 and rejected if NPV <0.

PP is the time required to recover the initial investment from the expected revenue. PP can be calculated by:

$$PP = \frac{TCI}{\sum_{t=1}^N \frac{[R_E - TOC]_t}{N}} \quad (5)$$

When $PP < N$, the project should be accepted, otherwise the initial investment can not be recovered over the life of the project.

B. Economic viability

For feasibility calculations, Table I presents a summary of the data on the operating parameters of the gasifier, the raw material used and the economic parameters required for the calculations.

Table III. Parameters for economic analysis of the feasibility of installing a gasification plant.

System Parameters	
Type of gasifier	Fixed bed
Yield (%)	1800%
Operating time (h)	10
Days of the month	21
Days in year	252
Raw material	
WEEE	
Quantity (ton/year)	226,8
Price for landfill (€/ton)	9,9
Annual landfill readjustment	1,12
Forest Material	
Quantity (ton/year)	2041,2
Chips price (€/ton)	25
Economic parameters	
Investment (€/kW)	3000
Price of electricity produced (€/kWh)	0,2
Price of electricity consumed (€/kWh)	0,29
Operating costs (% investment)	1%
Lifetime (year)	30

Table 2 shows the result of the economic evaluation with the calculations for the annual cash flows, NPV and PP for the proposed unit.

Parameter	90% pine + 10% WEEE	80% pine + 20% WEEE
LHV (MJ/m ³)	5,2	3,6
Volume produced (m ³ /h)	21,93	21,93
Biomass consumption (kg/h)	6	6
Energy contained in biomass (kWh/kg)	5,28	3,55
Energy produced in on year (kWe.month)	179606,7	53728,5
Current costs		
Deposits in landfills (€/ton/year)	2245,32	2245,32
Energy spent per month (kWh)	39884,5	39885,5
Expenses with the installation of a gasification plant		
Starting costs (€)	2565810	767550
Maintenance costs (€/year)	25658,1	7675,5
Costs with chip (€/year)	51030	22680

Income		
Non-deposit in landfill (€/year)	2245,32	2245,32
Saved electric power (€/year)	138791,1	138791,1
Sale of residual energy (€/year)	35921,34	2769,2
Return time (year)	24	7

The results of the economic analysis indicate that there is viability in the construction of a gasification unit that uses forest residues and PCEC. The results present two hypotheses, both feasible, but taking into account the time of return we can opt for the mixture with 20% of WEEE since the PP is lower (7 years) and, although the calorific value of the gas is slightly lower, it will not influence the energy produced by the engine.

The economic viability of a gasification unit depends on the availability of waste and the size of the unit. In fact, units with higher energy generation require a greater amount of raw material that may not be available in the region, implying waste transportation costs over considerable distances.

V. CONCLUSION

The results described in this study demonstrate that the properties of WEEE for thermal conversion are good. The LHV of the WEEE showed good prospects for converting this fuel into energy.

Based on the study and on the presented results, it was demonstrated the feasibility of transforming forest residues and highly polluting waste into valuable, hydrogen-rich gas and other products that are highly relevant in terms of heating power and are of interest to the chemical industry. It also showed that the thermal gasification unit performed very well during the tests.

The results of the economic analysis indicate that there is feasibility in the construction of a gasification plant that uses forest residues and WEEE. For the tests with 20% of WEEE, it was estimated an initial cost of 2.5 Million euros and a return time of 24 years. With the increase in the WEEE incorporation to 20%, these figures fell to an initial cost of approximately 780 thousand euros and an estimated return time of 7 years. The economic viability of such a plant depends on the relationship between the availability of waste and the size of the unit. In fact, units with higher powers require more raw material that may not be available in the region, implying a waste transport at greater distances.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful for the financial support given to the project 0330_IDERCEXA_4_E - RENEWABLE INVESTMENT, DEVELOPMENT AND ENERGY FOR THE IMPROVEMENT OF THE ENTREPRENEURIAL FABRIC IN THE REGION CENTRO, ESTREMADURA AND ALENTEJO co-financed by ERDF - European Regional Development Fund through the INTERREG, and also from Fundação para a Ciência e Tecnologia - Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (grant no. SFRH/BD/111956/2015), co-financed by Programa Operacional Potencial Humano and União Europeia-Fundo Social Europeu.

REFERENCES

- [1] B. Zou and B. Luo, "Rural Household Energy Consumption Characteristics and Determinants in China," *Energy*, 2019.
- [2] B. S. Reddy and P. Balachandra, "Dynamics of technology shifts in the household sector-implications for clean development mechanism," *Energy Policy*, vol. 34, no. 16, pp. 2586–2599, 2006.
- [3] C. P. Balde, F. Wang, R. Kuehr, and J. Huisman, *The Global E-Waste Monitor 2014*. 2015.
- [4] C. P. BALDE, V. FORTI, V. GRAY, R. KUEHR, and P. STEGMANN, *The global e-waste monitor 2017*. 2017.
- [5] Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, "DIRETIVA 2012/19/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 4 de julho de 2012. relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos (REEE)," *J. Of. da União Eur.*, no. 6, pp. 38–71, 2012.
- [6] Z. Yao, S. You, T. Ge, and C. H. Wang, "Biomass gasification for syngas and biochar co-production: Energy application and economic evaluation," *Appl. Energy*, vol. 209, no. July 2017, pp. 43–55, 2018.
- [7] S. I. Ngo *et al.*, "Performance evaluation for dual circulating fluidized-bed steam gasifier of biomass using quasi-equilibrium three-stage gasification model," *Appl. Energy*, vol. 88, no. 12, pp. 5208–5220, 2011.
- [8] S. Rapagnà, N. Jand, A. Kiennemann, and P. U. Foscolo, "Steam-gasification of biomass in a fluidised-bed of olivine particles," *Biomass and Bioenergy*, vol. 19, no. 3, pp. 187–197, 2000.
- [9] A. A. Ahmad, N. A. Zawawi, F. H. Kasim, A. Inayat, and A. Khasri, "Assessing the gasification performance of biomass: A review on biomass gasification process conditions, optimization and economic evaluation," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 53, pp. 1333–1347, 2016.
- [10] L. Yassin, P. Lettieri, S. J. R. Simons, and A. Germanà, "Techno-economic performance of energy-from-waste fluidized bed combustion and gasification processes in the UK context," vol. 146, pp. 315–327, 2009.
- [11] L. Ya, "Advanced thermal treatment of composite wastes for energy recovery."
- [12] A. P. do A. APA, "Valor da TGR," 2018. [Online]. Available: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=1118&sub3ref=1119>.
- [13] Galp, "Preços da Tarifa de Energia Opções tarifárias BTN Ciclos Horários," pp. 1–7.
- [14] F. C. Luz *et al.*, "Techno-economic analysis of municipal solid waste gasification for electricity generation in Brazil," *Energy Convers. Manag.*, vol. 103, pp. 321–337, 2015.
- [15] "All power labs," 2018. [Online]. Available: www.allpowerlabs.com.
- [16] A. Guilhermino, G. Lourinho, P. Brito, and N. Almeida, "Assessment of the Use of Forest Biomass Residues for Bioenergy in Alto Alentejo, Portugal: Logistics, Economic and Financial Perspectives," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 9, no. 5, pp. 739–753, 2018.

Filamento a base de ácido poliláctico y kenaf para impresión 3D

Manuel Acevedo Serrano, Luis Royano Barroso, Ana Parralejo Alcobendas, Juan Cabanillas Patilla,
Jerónimo González Cortés

Manuel Acevedo Serrano
*Departamento de Cultivos Extensivos:
Biomasa y Bioproductos
Centro de Investigación Científica y
Tecnológica de Extremadura
(CICYTEX)*
Consejería de Economía e
Infraestructura. Junta de Extremadura
Guadajira, 06187 Badajoz SPAIN
manuel.acevedo@juntaex.es

Juan Cabanillas Patilla
*Departamento de Cultivos Extensivos:
Biomasa y Bioproductos
Centro de Investigación Científica y
Tecnológica de Extremadura
(CICYTEX)*
Consejería de Economía e
Infraestructura. Junta de Extremadura
Guadajira, 06187 Badajoz SPAIN
juan.cabanillas@juntaex.es

Luis Royano Barroso
*Departamento de Cultivos
Extensivos: Biomasa y Bioproductos
Centro de Investigación Científica y
Tecnológica de Extremadura
(CICYTEX)*
Consejería de Economía e
Infraestructura. Junta de
Extremadura Guadajira, 06187
Badajoz SPAIN
luis.royano@juntaex.es

Jerónimo González Cortés
*Departamento de Cultivos
Extensivos: Biomasa y Bioproductos
Centro de Investigación Científica y
Tecnológica de Extremadura
(CICYTEX)*
Consejería de Economía e
Infraestructura. Junta de
Extremadura Guadajira, 06187
Badajoz SPAIN
jeronimo.gonzalez@juntaex.es

Ana Parralejo Alcobendas
*Departamento de Cultivos Extensivos:
Biomasa y Bioproductos
Centro de Investigación Científica y
Tecnológica de Extremadura
(CICYTEX)*
Consejería de Economía e
Infraestructura. Junta de Extremadura
Guadajira, 06187 Badajoz SPAIN
ana.parralejo@juntaex.es

Abstract—Nuestro objetivo consiste en la elaboración de un material biocompuesto a base de ácido poliláctico (PLA) reforzado con fibra larga de Kenaf, dándole forma de filamento para estudiar su comportamiento en una impresora 3D. Actualmente se están incluyendo proporciones de fibra de hasta el 25%, siendo esperable alcanzar al menos el 50%.

Keywords— PLA, Kenaf, biomaterial, biocomposite

I. INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación social sobre los aspectos medioambientales y el aumento de la contaminación por plásticos, hacen que hoy en día cobren más valor aquellos materiales que son biodegradables como el PLA, siendo utilizado ampliamente como filamento para impresoras 3D. La fabricación distribuida junto con la generación eléctrica distribuida, es uno de los factores que pueden contribuir a fijar población en zonas rurales [1]. Por su parte el kenaf es una planta cuyas fibras han sido ampliamente utilizadas en aplicaciones donde se requiera una elevada resistencia como cuerdas o sacos y actualmente se están empleando también como refuerzo en polímeros sustituyendo a otras fibras que presentan una mayor huella ecológica. Estudios previos han determinado que este refuerzo con fibra de kenaf mejora las propiedades mecánicas del polímero [2, 3] Además el kenaf, debido a su elevada porosidad, presenta propiedades como absorbente acústico. De esta manera el material es probable que muestre también dichas propiedades[4]

II. EXPERIMENTAL

A. Materiales

Se utilizó un PLA natural EasyFil™ (Formfutura BV, Netherlands) en las mezclas con fibra larga de kenaf.

El Kenaf utilizado proviene de tallos procedentes de un ensayo de producción localizado en la finca “La Orden” del

Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura “CICYTEX” (180 m s. n. m. 38° 51’ 10” latitud Norte, 6° 39’ 10” latitud Oeste). Extremadura, Suroeste de España.

El molino de cuchillas utilizado para picar el kenaf fue un Retsch SM 2000 (Retsch GmbH, Germany). Se fabricaron varios filamentos en una extrusora Noztek Touch (Noztek, UK) con boquillas de 3,0 mm y 1,75 mm. Estos filamentos fueron usados para hacer pruebas imprimiendo piezas en una impresora BQ Hephestos (BQ, España). La estufa de secado Raypa modelo DO-20 se utilizó para el secado de las mezclas.

Las piezas para testeo fueron diseñadas utilizando el software FreeCAD 0.17 (www.freecadweb.org), exportadas en formato .stl y laminadas en CURA V. 4.1.0 ([Ultimaker B.V.](http://Ultimaker.com))

B. Métodos

Kenaf. La fibra utilizada se trituró previamente al mezclado en un molino de cuchillas con una malla de 1,5 mm de luz.

Preparación de la mezcla. Se tomaron las cantidades necesarias de PLA y fibra picada de Kenaf para un total de 25g en proporciones crecientes de fibra desde el 10% hasta el 25% en incrementos de 5%. La mezcla se dejó desecar durante 24h a 80°C en una estufa [5].

Elaboración del filamento. La mezcla se vertió posteriormente en la tolva de la extrusora para fabricar un filamento grueso de 3,0 mm a modo de mezcla primaria. Posteriormente, este filamento primario fue troceado y extruido nuevamente utilizando una boquilla de 1,75 mm. De esta manera se consiguió un filamento secundario con un nivel de homogeneizado adecuado que fue recogido manualmente en carretes.

Para minimizar el degradado de los materiales, se buscó la temperatura mínima de extrusión que resultó ser de 170°C para el filamento secundario, siempre y cuando la mezcla presente alto grado de homogeneidad. En caso contrario se consigue obstruir la extrusora sin que un aumento de temperatura solucione el bloqueo. No obstante, para la elaboración de todos los filamentos secundarios, se eligió 180°C como temperatura de trabajo para asegurar una correcta fluidez del polímero. La velocidad de giro del husillo fue de 15 rpm.

Impresión 3D. Cada uno de los filamentos fue probado en la impresora 3D imprimiendo dos piezas de muy diferente relación de aspecto. De manera general, los parámetros de impresión fueron: altura de capa de 0,2 mm, refrigeración de capa y retracción habilitadas, relleno del 20%, velocidad de impresión 35 mm/s, temperatura de 190°C para el *hotend* y de 55°C para la cama caliente.

III. RESULTADOS

Filamento. En general, los filamentos obtenidos se muestran más frágiles y de una mayor rugosidad cuanto mayor es la proporción de fibra. Los diámetros medios obtenidos se describen en la tabla 1. Aunque no son grosores homogéneos a lo largo del filamento, de manera general se obtiene un grosor bastante cercano al de referencia 1,75 mm. Se observa que la mezcla del 20% presenta un grosor menor que el de los otros, puede ser debido al hecho de recoger manualmente el filamento y por tanto no puede asegurarse una misma velocidad de enrollamiento. Por otro lado, las tonalidades obtenidas fueron oscureciéndose a medida que crece la proporción de fibra de kenaf, excepto la del 25% que resultó algo más clara que la inmediatamente anterior. Esto sugiere que el color no es debido a la proporción de

fibra, sino más bien a la oxidación del material en el interior de la extrusora.

TABLA 1. DIÁMETROS DE FILAMENTO

	Proporción de fibra			
	10%	15%	20%	25%
Diámetro mm	1,60	1,62	1,55	1,64

Impresora. En cuanto a los resultados de impresión, se lograron imprimir las piezas seleccionadas con filamentos de todas las proporciones. Para las mezclas del 10% se utilizó una boquilla inicial de 0,4 mm pero finalmente se hizo necesaria cambiarla por una de 0,6 mm debido a obstrucciones. Las mezclas del 15% en adelante necesitaron un nuevo aumento del grosor de la boquilla hasta 0,8 mm siendo necesaria la modificación de los modelos a imprimir pues la impresora ya no era capaz de generar detalles de nivel inferior (fig. b, c y d)

En lo referido a la calidad de las piezas, se observan carencias de material en algunas zonas del cilindro. Esto es achacable a la falta de flujo debido a un diámetro irregular. Otras veces se ha podido observar diferentes tonalidades dentro de una misma figura. Podría ser que el homogeneizado no fuera perfecto o incluso que dentro del barril de la extrusora se crearan caminos preferentes de salida, quedando retenidas durante más tiempo ciertas porciones de mezcla y sufriendo por tanto un proceso oxidativo más intenso.



Figura a.



Figura b.



Figura c.



Figura d.

IV. FUTURAS LÍNEAS DE ACTUACIÓN

En primer lugar, se hace necesario reducir el diámetro de partícula de las fibras para evitar obstrucciones, tanto en la extrusora, como en la impresora. Esto podría acercarnos a una impresión con boquillas de 0.6 mm o incluso de 0,4 mm consiguiendo piezas con un mayor detalle. Por otro lado es conveniente buscar un método de homogeneizado inicial más eficiente y a una temperatura donde el ataque oxidativo hacia las fibras sea menor. Además, se podría estudiar la adición de aditivos para el PLA en pro de un mejor acabado tanto del filamento como de las piezas resultantes. Y por último se podría conseguir un diámetro de filamento más homogéneo acoplando una embobinadora automática.



V. CONCLUSIONES

La consecución del objetivo propuesto parece alcanzable, tanto por la superación de los problemas encontrados hasta ahora, como por el buen acabado logrado en alguna de las piezas, cuyo aspecto se asemeja en gran medida a un objeto cualquiera impreso con un filamento comercial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la financiación obtenida para la ejecución del proyecto POCTEP (Programa Operativo de Cooperación Transfronteriza España-Portugal) IDERCEXA.

REFERENCIAS

- [1] R. E. DeVor, S. G. Kapoor, J. Cao, and K. F. Ehmann, "Transforming the Landscape of Manufacturing: Distributed Manufacturing Based on Desktop Manufacturing (DM)2," *J. Manuf. Sci. Eng.*, vol. 134, no. 4, p. 041004, 2012.
- [2] H. Ku, H. Wang, N. Pattarachaiyakoop, and M. Trada, "A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites," *Compos. Part B Eng.*, vol. 42, no. 4, pp. 856–873, 2011.
- [3] T. Nishino, K. Hirao, M. Kotera, K. Nakamae, and H. Inagaki, "Kenaf reinforced biodegradable composite," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 63, no. 9, pp. 1281–1286, 2003.
- [4] D. D. V. S. Chin, M. N. Bin Yahya, N. Bin Che Din, and P. Ong, "Acoustic properties of biodegradable composite micro-perforated panel (BC-MPP) made from kenaf fibre and polylactic acid (PLA)," *Appl. Acoust.*, vol. 138, no. December 2017, pp. 179–187, 2018.
- [5] M. A. Sawpan, K. L. Pickering, A. Fernyhough, N. Zealand, B. Engineering, and N. Zealand, "Hemp Fibre Reinforced Poly(lactic acid) Composites Moyeenuddin A. Sawpan 1," *Adv. Mater. Res.*, vol. 29–30, pp. 1–4, 2007.



Water washing to improve the quality of solid biofuel from plum tree pruning biomass

Luis Royano Barroso, Ana Parralejo Alcobendas, Juan Cabanillas Patilla, Jerónimo González Cortés, Juan Félix González González

Luis Royano Barroso
Department of Field Crops: Biomass and Bioproducts
Centre for Scientific and Technological Research of Extremadura (CICYTEX).
Consejería of Economy and Infrastructure. Junta de Extremadura
 Guadajira. 06187 Badajoz SPAIN
luis.royano@juntaex.es

Ana Parralejo Alcobendas
Department of Field Crops: Biomass and Bioproducts
Centre for Scientific and Technological Research of Extremadura (CICYTEX).
Consejería of Economy and Infrastructure. Junta de Extremadura
 Guadajira. 06187 Badajoz SPAIN
ana.parralejoa@juntaex.es

Juan Cabanillas Patilla
Department of Field Crops: Biomass and Bioproducts
Centre for Scientific and Technological Research of Extremadura (CICYTEX).
Consejería of Economy and Infrastructure. Junta de Extremadura
 Guadajira. 06187 Badajoz SPAIN
juan.cabanillas@juntaex.es

Jerónimo González Cortés
Department of Field Crops: Biomass and Bioproducts
Centre for Scientific and Technological Research of Extremadura (CICYTEX).
Consejería of Economy and Infrastructure. Junta de Extremadura
 Guadajira. 06187 Badajoz SPAIN
jeronimo.gonzalez@juntaex.es

Juan Félix González González
Department of Field Crops: Biomass and Bioproducts
Centre for Scientific and Technological Research of Extremadura (CICYTEX).
Consejería of Economy and Infrastructure. Junta de Extremadura
 Guadajira. 06187 Badajoz SPAIN
jfelixgg@unex.es

Abstract— The use of biomass from pruning fruit trees to obtain biofuel pellets can be an interesting alternative in Southern Europe, generating added value in rural areas and favoring the development of the circular economy and green economy. The washing of biomass allows the decrease in its environmental impact during its combustion in a pellet stove although the wood species plays an important role. This work aims at studying the leaching at room temperature of plum pruning biomass. Wood chips were washed using distilled deionized water. The water washing (leachate) was analyzed by ICP/OES for the quantification of mineral. Biofuel analyses were done on all washed biomass obtained while the non-treated raw material was also analyzed in order to calculate the change in the chemical composition. Liquid water extraction on several samples of plum tree pruning biomass was shown to be able to improve fuel characteristics from reduction of ash.

Keywords—wood washing, solid biofuel, reduce emissions, reduce ash

I. INTRODUCTION

Nowadays, the use of biomass increasingly replaces the fossil fuels for the domestic heating production. Wood pellets have become an important fuel in domestic heat generation, since the costs of fossil fuels are rising and the emissions are nearly CO₂ neutral. In contrast to other wood based fuels, the utilization of pellets is easy and automatic

feeding to stoves and boilers is possible. Furthermore, the pelletization densifies the wood and produces a fuel with high energetic density [1]. The use of biomass from pruning fruit trees to obtain biofuel pellets can be an interesting alternative in Southern Europe, generating added value in rural areas and favoring the development of the circular economy and green economy. The washing of biomass allows the decrease in its environmental impact during its combustion in a pellet stove although the wood species plays an important role [2]. More generally, combustion of wood pellets, due to a better complete combustion, is clearly less emissive in comparison with wood logs combustion. The automatic feed of the fuel and the possible presence of a lambda probe are advanced technologies that contribute to complete combustion [3,4].

Several techniques are developed in order to reduce pollutants from wood combustion. Primary and secondary technologies must be distinguished: on the one hand, primary solutions focus on fuel quality and the conception of stoves and boilers, on the other hand, secondary solutions focus on the post-treatment of fumes [5-7]. One of the primary solutions to reduce pollutant emissions from biomass combustion could be a washing pretreatment of wood. Indeed, by washing wood, some compounds as minerals or extractives from wood could be removed. Smidt *et al.* [2] studied raw and washed woods, wood pellets were combusted for three different types of wood and the study

focused on their particulate and gaseous emissions. Results show that, depending on the wood species, the washing of biomass allows the decrease in its environmental impact during its combustion in a pellet stove.

Herbaceous washed leached biomass has been studied and, in general, is a suitable raw to create a competitive fuel. Significant improvements of fuel characteristics resulted from reduction of critical elements and reduce ash [8,9]. This study aims at studying the leaching at room temperature of plum pruning biomass. Wood chips were washed using distilled deionized water. The water washing (leachate) was analyzed by ICP/OES for the quantification of mineral. Biofuel analyses were done on all washed biomass obtained while the non-treated raw material was also analyzed in order to calculate the change in the chemical composition.

II. METHODOLOGY

A. Biomass

The plum trees pruning biomass material was taken from a biomass logistic centre in Badajoz-Extremadura Southern Spain. A representative sample of branches of 6 cm diameter was selected in this study. After cutting, half of the branches were debarked.

B. Experimental procedures

The two fractions (with and without barked), wood chip samples of 200 g were batch-leached at room temperature (22°C) with distilled deionized water (10 l kg⁻¹ leaching ratio). The experiments were conducted in triplicate for each sample. Leaching extractions were carried out for different periods: 5 minutes, 60 minutes, 180 minutes and 2 days. The determinations were realized in the biomass according to ISO 17225 for solid biofuels: ash content. The water content and ash content were evaluated with a thermogravimetric analyzer Leco TGA 701 according to ISO-18134-1 and ISO 18122, respectively.

For each experiment, the washing water (leachate) was analyzed by ICP/OES Varian 715ES (Australia).

C. Statistical Analysis

The results obtained were analyzed using ANOVA, by which, the differences among biofuel types were observed. The statistical treatment was carried out with spss 15.0 program

III. RESULTS

Washing or leaching proceeds to demineralization of the wood with very high efficiencies of some minerals as potassium, sodium, calcium, sulfur and phosphor [10,11]. Schmidt *et al.* found ash mean reduction rate in washed biomass of 25%, 32% and 38%, for fir, beech and oak respectively. Water leaching reduced the ash content of debarked and delimbed Douglas fir by 40% and Miscanthus biomass by 39% [12]. The ash and mineral concentrations reduction rate of grasslands biomass were 37.5% for ash, 23% for N, 38.3% for S, 83.5% for K, 32% for Mg and 92% for Cl [9]. The mean ash content of Plum feedstock in the present study was 2.39% with bark and 1.44% debarked. Water leaching treatments reduced the ash content in the wood chips with bark between 12% and 28%, and between 5% and 43% for wood chips debarked (Table 1). Longer treatment of 2 days or treatments with more than a period of washing didn't show a clear tendency of reduction even an increase in ash was observed that it could be due to the loss of solubilized biomass.

TABLE 1. EFFECT OF DIFFERENT WASHING DURATION TREATMENT IN ASH CONTENT OF PLUM BIOMASS

Treatment time	Woodchips with bark		Woodchips without bark	
	Ash (%)	Mean reduction rate with leachate (%)	Ash (%)	Mean reduction rate with leachate (%)
0 minutes	2,38	---	1,44	---
5 minutes	1,73	28	1,37	5
30 minutes	1,76	26	1,15	20
60 minutes	1,9	20	1,11	23
180 minutes	2,09	12	0,98	32
2 days	1,65	31	0,82	43

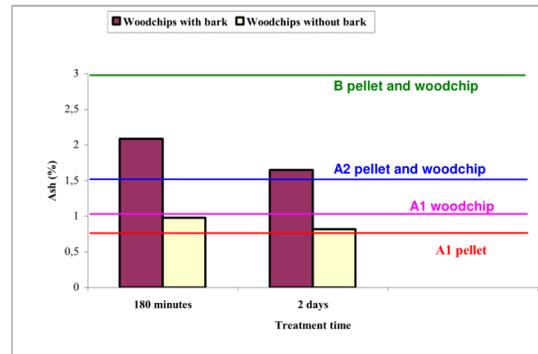


Figure 1. Influence of the washing treatment duration in the variation of ash content and threshold for the different qualities of the ISO 17225 standard for solid biofuel.

Water leached plum woodchips debarked comply with A1 quality requirements, while leached plum pellets debarked complies only with A2 quality threshold (Figure 1). Nevertheless, washed plum woodchips with bark reach only B quality.

The leachates were analyzed for mineral contents using ICP/OES and only results above the detection limits were showed (Figure 2).

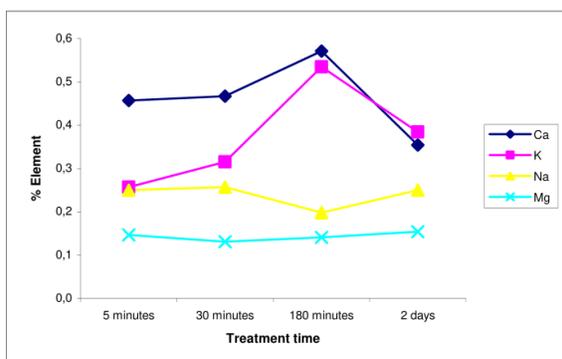


Figure 2. Elements concentration in leachate sample at different water washing duration treatments % elements/ total (plum wood debarked)

CONCLUSIONS

Liquid water extraction on several samples of plum tree pruning biomass was shown to be able to improve fuel characteristics from reduction of ash.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the financial support of the MESOCEX project (CICYTEX - Junta de Extremadura – co-financed with FEDER funds) and IDERCEXA POCTEP Project.

REFERENCES

- [1] C. Whittaker, I. Shield. Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability –a review, *Renew. Sust. Energ. Rev.* 71 (2017) 1-11, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.119>.
- [2] G. Smidt, G. Trouve, G. Leysens, C. Schönnenbeck, P. Genevray, F. Cazier, D. Dewaele, C. Vandelbicke, E. Faivre, Y. Danance, C. Le Dreff-Lorimier. Wood washing: Influence on gaseous and particulate emissions during wood combustion in a domestic pellet stove. *Fuel Processing Technology* 174 (2018) 104-117.
- [3] C. Boman, E. C. Petterson, R. Westerholm, D. Boström, A. Nordin. Stove performance and emission characteristics in residential wood log and pellet combustion, part 1: pellet stoves, *Energy Fuel* 25 (2011) 307-314, <https://doi.org/10.1021/ef100774x>.
- [4] C. Schmidl, M. Luisser, E. Padouvas, L. Lasselsberger, M. Rzaca, C. Ramirez-Santa Cruz, M. Handler, G. Peng, H. Bauer, H. Puxbaum. Particulate and gaseous emissions from manually and automatically fired small scale combustion systems. *Atmos. Environ.* 45 (2011) 7443-7454, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.05.006>.
- [5] F. Ozil, V. Tschamber, F. Haas, G. Tronvé. The “Zero-CO” domestic fireplace: a catalytic solution to reduce pollutants, *Manag. Environ. Qual.* 22 (2011) 429-439.
- [6] F. Hensgen, M. Wachendorf. Aqueous leaching prior to dewatering improves the quality of solid fuels from grasslands. *Energies* 2018, 11, 846; doi:10.3390/en11040846.
- [7] S. Ghafghazi, T. Sowlati, S. Sokhansanj, X. Bi, S. Melin. Particulate matter emissions from combustion of wood in district heating applications, *Renew. Sust. Energ. Rev.* 15 (2011) 3019-3028.
- [8] J.H.A. Khalsa, F. Döhling, F. Berger. Foliage and grass as fuel pellets. Small scale combustion of washed and mechanically leached biomass. *Energies* 2016, 9, 361; doi:10.3390/en9050361.
- [9] F. Hensgen, M. Wachendorf. Aqueous leaching prior to dewatering improves the quality of solid fuels from grasslands. *Energies* 2018, 11, 846; doi:10.3390/en11040846.
- [10] I. Deng, T. Zhang, D. Che. Effect of water washing on fuel properties, pyrolysis and combustion characteristics, and ash fusibility of biomass. *Fuel Process. Technol.*, 106 (2013), 712-720.
- [11] I.Y. Eom, K.H. Kim, J. Y. Kim, S.M. Lee, H.M. Yeo, I.G. Choi, J. W. Choi. Characterization of primary thermal degradation features of lignocellulosic biomass after removal of inorganic metals by diverse solvents. *Bioresour. Technol.* 102 (2011) 3437-3444.
- [12] C. Yu, P. Thy, L. Wang, S.N. Anderson, J.S. VanderFheynst, S.K. Upadaya, B.M. Jenkins. Influence of leaching pretreatment on fuel properties of biomass. *Fuel Processing Technology* 128 (2014) 43-53.

LOGO SPACE



JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería de Economía e Infraestructuras



ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PRETRATAMIENTO EN LA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN RESIDUOS DE UVA

Ana Parralejo Alcobendas, Luis Royano Barroso, Manuel Acevedo Serrano, Juan Cabanillas Patilla,
Jerónimo González Cortés

Ana Parralejo Alcobendas
*Departamento de Cultivos Extensivos:
Biomasa y Bioproductos
Centro de Investigaciones Científicas y
Tecnológicas de Extremadura
(CICYTEX)*
Consejería de Economía e
Infraestructura. Junta de Extremadura
Guadajira, 06187 Badajoz SPAIN
ana.parralejo@juntaex.es

Juan Cabanillas Patilla
*Departamento de Cultivos Extensivos:
Biomasa y Bioproductos
Centro de Investigaciones Científicas y
Tecnológicas de Extremadura
(CICYTEX)*
Consejería de Economía e
Infraestructura. Junta de Extremadura
Guadajira, 06187 Badajoz SPAIN
juan.cabanillas@juntaex.es

Luis Royano Barroso
*Departamento de Cultivos
Extensivos: Biomasa y Bioproductos
Centro de Investigaciones
Científicas y Tecnológicas de
Extremadura
(CICYTEX)*
Consejería de Economía e
Infraestructura. Junta de
Extremadura Guadajira, 06187
Badajoz SPAIN
luis.royano@juntaex.es

Jerónimo González Cortés
*Departamento de Cultivos
Extensivos: Biomasa y Bioproductos
Centro de Investigaciones
Científicas y Tecnológicas de
Extremadura
(CICYTEX)*
Consejería de Economía e
Infraestructura. Junta de
Extremadura Guadajira, 06187
Badajoz SPAIN
jeronimo.gonzalez@juntaex.es

Manuel Acevedo Serrano
*Departamento de Cultivos Extensivos:
Biomasa y Bioproductos
Centro de Investigaciones Científicas y
Tecnológicas de Extremadura
(CICYTEX)*
Consejería de Economía e
Infraestructura. Junta de Extremadura
Guadajira, 06187 Badajoz SPAIN
manuel.acevedo@juntaex.es

Abstract- En este estudio se evalúa la influencia del tratamiento realizado a residuos de orujo de uva en el potencial de metano obtenido en régimen batch y semi-continuo durante el proceso de digestión anaerobia. Los resultados de potenciales de metano correspondientes a experimentos realizados en este trabajo con residuos sometidos a tratamientos de molturación son mejores que aquellos que no se han tratado de esta forma (295 LN kg SV⁻¹ y 285 LN kg SV⁻¹ frente a 390 LN kg SV⁻¹ y 380 LN kg SV⁻¹). Como consecuencia de ello se han realizado experimentos en semi-continuo estudiando mezclas del residuo orujo de uva junto a otros sustratos en el alimento del digestor empleando dicho residuo molturado y sin molturar. Adicionalmente, se ha evaluado el proceso de digestión anaerobia a escala de planta piloto con el objetivo de verificar los resultados obtenidos en laboratorio y establecer la forma de proceder en una instalación real.

Keywords—*orujo de uva, rendimiento de metano, molturación.*

I. INTRODUCCIÓN

Cumpliendo con los objetivos energéticos y climáticos de 2020, la Unión Europea, ha generado nuevas industrias y puestos de trabajo en Europa con el objetivo de potenciar la innovación tecnológica, reduciendo así los costes de la

tecnología. La revolución de las energías renovables es el mejor ejemplo de ello. La cuota de energías renovables en el consumo final de energía ha pasado del 9 % en 2005 al 17 % en 2018.

La transformación hacia sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles, saludables, sensibles a la nutrición, eficientes en recursos, resilientes, circulares e inclusivos debe acelerarse [1]. En el sector de la ganadería se generan una cantidad importante de emisiones a la atmósfera. Una de las soluciones más eficientes para disminuir las emisiones mencionadas es el tratamiento de los estiércoles en digestores anaerobios. De esta forma se reducirían las emisiones de gases diferentes al CO₂ y se produciría biogás [2].

Diversos residuos de las industrias alimentarias o del procesamiento de frutas se pueden utilizar como materia prima de biogás en co-digestión con estiércol animal y purines.

La superficie de viñedos de la UE era de 3362 millones hectáreas en 2016 [3]. En España, según la Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos ESYRCE del MAGRAMA, con datos para 2015 analizados por el Observatorio Español del Mercado del Vino, la superficie en

España de viñedo era de 954659 hectáreas. Respecto a las Comunidades autónomas, Castilla-La Mancha tiene la mayor superficie con 473268 hectáreas, es decir, el 49,6% de la superficie total en España. Le sigue, Extremadura con 80391 hectáreas [4]. Generalmente el orujo de uva se aprovecha para destilación, y se ha estimado que tan solo un 3% de la producción nacional se destina a alimentación animal debido principalmente a su bajo valor nutritivo por la presencia de fibra muy lignificada y al contenido en compuestos secundarios como los taninos.

El orujo de uva es el residuo del prensado de la uva, compuesto por pulpa (55%), semillas (20%) y raspones o ramas (25%). Del orujo de uva ya sin alcohol se puede separar los granos, de los que se obtiene aceite; tartrato de calcio, a partir del cual se obtiene el ácido tartárico; y biomasa que se emplea como biocombustible sólido en caldera. Otra opción que está en estudio es el ensilado del orujo de uva en pacas cilíndricas o rectangulares para su posterior aplicación en alimentación animal. El rendimiento del proceso de prensado en bodega es de alrededor de 30 kg orujo de uva por cada 100 L de vino, siendo la producción potencial española del orden de las 750000 Tm por año.

En el presente estudio se ha estudiado el uso de orujo de uva ensilado en procesos de digestión anaerobia en régimen batch y semi-continuo evaluando principalmente la influencia del molturado de las semillas contenidas en el orujo de uva en el rendimiento de metano obtenido.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Sustratos estudiados

El sustrato o residuo evaluado en este trabajo ha sido el orujo de uva. Se trata de un residuo muy heterogéneo (ramas, semillas y piel) producido de forma estacional, lo que quiere decir que se ha de conservar para su utilización en cualquier época del año. La forma de conservación o almacenamiento del orujo de uva ha sido el ensilado, llevado a cabo en bolsas de plástico en las que se ha realizado el vacío para mantener el sustrato en ausencia de oxígeno y mantenidas en oscuridad. Previamente al ensilado, el orujo de uva ha requerido un proceso de triturado para disminuir el tamaño. Se ha estudiado el orujo de uva en dos condiciones distintas, orujo de uva triturado y ensilado (experimentos T1) y orujo de uva triturado, ensilado y molturado (experimentos T2). El proceso de molturado realizado ha

tenido como principal objetivo la rotura de las semillas contenidas en el residuo.

El inóculo empleado en los ensayos ha consistido en mezclas de material orgánico completamente degradado, con un contenido en microorganismos metanogénicos alto. Todos los inóculos utilizados para cada uno de los experimentos realizados han sido caracterizados (Tabla 1). El estudio de los experimentos en régimen semi-continuo ha necesitado emplear más sustratos juntos al orujo de uva, entre ellos se han utilizado el purín de cerdo, el sorgo y el triticale. El purín de cerdo ha sido recogido de una granja de cerdos situada en Guadajira (Badajoz, Spain) (+38° 51' 9.6768", -6° 40' 15.5418"). El sorgo y el triticale ha sido empleado molido, lo cual quiere decir que ha requerido de unos pretratamientos previos. Estos pretratamientos han consistido en un triturado previo al proceso de ensilado, tras la cosecha de ambos cultivos energéticos. Una vez producida la fermentación propia que ha tenido lugar en el silo, se ha sometido el material a secado a 105 °C, y finalmente se ha molido. Todos los sustratos empleados en este estudio se han analizado para obtener aquellos parámetros físico-químicos más característicos del proceso de digestión anaerobia cuyos métodos de análisis aparecen detallados en el apartado II.C.

B. Digestores empleados y diseño experimental

Los digestores anaerobios que se han empleado en laboratorio para llevar a cabo los experimentos correspondientes a este trabajo están compuestos de acero inoxidable y poseen un volumen total de 6 L, siendo el volumen útil empleado para los ensayos de 4.5 L. Los digestores se encuentran recubiertos de una camisa exterior por la cuál circula agua caliente para mantener una temperatura constante del sustrato a digerir en el interior regulada mediante un termostato. En este estudio se ha trabajado en rango mesofílico de temperatura (38 °C). El sustrato a digerir se ha mantenido homogeneizado completamente mediante un agitador central accionado eléctricamente y regulable mediante un potenciómetro. El digestor de la planta piloto utilizada para realizar la experiencia en régimen semi-continuo posee un volumen útil de 1500 L, está construido en acero inoxidable, posee un eje con hélices que homogeneizan la muestra, y se encuentra

TABLA I. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE SUSTRATOS DE PARTIDA.

TIPO EXPERIMENTO	BATCH			SEMI-CONTINUO			
	Inóculo	Orujo uva 1 (T1)	Orujo uva 2 (T2)	Inóculo T1A	Inóculo T1B	Inóculo T2A	Inóculo T2B
pH	8.14	4.69	4.19	9.03	8.67	7.94	7.73
Potencial redox, mV	-438	111	35	-128	-253	-166	-318
Alcalinidad, mg CaCO ₃ L ⁻¹	9258	-	-	11154	11042	10567	10985
DQO ^a , mg O ₂ L ⁻¹	16000	410000	410000	250000	61000	19000	15000
AGV ^b , mg L ⁻¹	479	-	-	1958	628	516	691
Nitrógeno amoniacal, mg L ⁻¹	2400	156	<30	1840	2320	2240	2360
Relación C/N	9.32	26.86	-	32.12	12.17	5.09	4.36
ST ^c , %	1.75	36.36	39.63	1.53	1.86	1.53	1.69
SV ^d , %	1.11	32.72	36.38	0.75	1.03	0.79	0.89
TIPO EXPERIMENTO	SEMI-CONTINUO				SEMI-CONTINUO PLANTA PILOTO		
Parámetro/Sustrato	Purín T1	Purín T2	Sorgo T1 y T2	Triticale T1 y T2	Inóculo PP	Orujo uva PP	Purín PP
pH	7.95	7.79	3.64	4.71	9.01	3.98	7.59
Potencial redox, mV	-370	-409	188	155	-422	209	-400
Alcalinidad, mg CaCO ₃ L ⁻¹	10374	8631	-	-	10313	-	12287
DQO ^a , mg O ₂ L ⁻¹	18175	13000	800000	1170000	14000	488000	54500
AGV ^b , mg L ⁻¹	436	721	-	-	1169	-	2859
Nitrógeno amoniacal, mg L ⁻¹	2885	440	412	230	2520	209	3040
Relación C/N	9.06	16.01	53.03	79.47	5.08	33.8	5.62
ST ^c , %	1.86	1.49	100.00	100.00	1.45	38.15	5.05
SV ^d , %	0.99	0.79	94.65	93.93	0.64	34.54	3.44

^aDemanda Química de Oxígeno; ^bSólidos Totales; ^cSólidos Volátiles Totales; ^dÁcidos Grasos Volátiles Totales.

calefactado a través de un serpentín interior por el que circula agua caliente. La planta piloto consta de una sistema de alimentación que consiste en el bombeo de la parte líquida a partir de un depósito de acero inoxidable, y en el empleo de un tornillo sinfín accionado hidráulicamente por el que se introduce la muestra sólida. La planta piloto dispone de una línea de gases que está formada por una trampa de agua, un contador de biogás, un gasómetro y un compresor que conduce el gas al equipo de aprovechamiento energético pertinente.

En este trabajo se han estudiado por duplicado (A y B) dos regímenes de funcionamiento diferentes, batch y semi-continuo. En cada régimen de funcionamiento se han realizado dos tipos de experimentos (T1 y T2). Seguidamente se ha desarrollado una experiencia en planta piloto en régimen semi-continuo. En la Tabla 2 se muestra un diseño de los experimentos que se han realizado y evaluado en este trabajo.

TABLA 2. DISEÑO EXPERIMENTAL.

SUSTRATO		RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO			
		BATCH			
Inóculo, g		3500			
Orujo de uva, g		265			
		SEMI-CONTINUO			
		VCO: 1.69 g SV L ⁻¹ d ⁻¹ (T1) y 1.34 g SV L ⁻¹ d ⁻¹ (T2)			
		T1A	T1B	T2A	T2B
MEZCLA ALIMENTADA	Purín, g		338		
	Sorgo, g		0.90		
	Triticale, g		0.90		
	Orujo de uva T1, g	1.80			
	Orujo de uva T2, g				4.64
		SEMI-CONTINUO (PLANTA PILOTO)			
		VCO: 1.75 kg SV m ⁻³ d ⁻¹			
MEZCLA ALIMENTADA	Purín, kg		50		
	Orujo de uva T2, kg		2.20		

VCO: Velocidad de carga orgánica diaria.

C. Métodos analíticos

La caracterización de los sustratos fue llevada a cabo de acuerdo a los métodos estándar [5]. El contenido en Sólidos Totales fue determinado mediante secado de la muestra hasta peso constante en una estufa (JP Selecta Digitheat, USA) a 105 °C durante 48 h (2540 B method). El contenido en Sólidos Volátiles (SV) fue obtenido mediante secado a 550 °C durante 2 h en un horno mufla (Hobersal 12PR300CCH, Spain) en atmósfera inerte (2540 E method). Los valores de pH y potencial rédox fueron medidos a través de sus electrodos correspondientes con un pHmetro (Crison Basic 20, Spain), la alcalinidad del medio de acuerdo al método 2320, La Demanda Química de Oxígeno (DQO) según el método 410.4 [6], el nitrógeno amoniacal (N-NH₄) mediante una valoración volumétrica de acuerdo al método E4500-NH3 B y los Ácidos Grasos Volátiles Totales (AGV) de acuerdo al método volumétrico de Buchauer [7]. La relación C/N inicial en los sustratos fue determinada empleando un analizador elemental True-Spec CHN Leco 4084 (USA), de acuerdo a la norma UNE-EN 16,948 para análisis de biomasa C, N, H [8]. La composición del biogás y el volumen generado del mismo fue monitoreado automáticamente *in-situ* a lo largo de los experimentos gracias a un analizador Awite System of Analysis Process serie 9 (Bioenergie GmbH, Germany). Este analizador está compuesto por dos sensores IR que miden el metano y el dióxido de carbono contenido en el biogás generado, y tres sensores electroquímicos que se encargan de medir el contenido en hidrógeno, ácido sulfhídrico y oxígeno en dicho gas. El contador de gas (Ritter model MGC-1 V3.2 PMMA, Germany) se empleó para medir de forma individualizada el biogás producido, el cual se almacenaba en bolsas Tedlar. El volumen del gas seco fue corregido a condiciones estándar (0 °C, 101.325 kPa). Los elementos

analizados en el digestato obtenido fueron detectados mediante la técnica de espectroscopia usando un ICP-OES Varian 715 ES (Australia). Las muestras sometidas a este análisis fueron previamente digeridas en un microondas Millestone Start D (Italy).

D. Tratamiento estadístico y ajuste cinético de resultados

Se ha llevado a cabo un tratamiento estadístico de resultados de las variables rendimiento de metano, nitrógeno amoniacal, alcalinidad y AGV. Dichas variables han sido sometidas a un análisis ANOVA (Análisis de Varianza) de un factor para estudiar la significancia (valor p de 0.05) en cada experimento (diferente tratamiento del orujo de uva). El programa estadístico empleado ha sido Minitab 18.

Además, los resultados obtenidos de volumen de metano acumulado a lo largo del tiempo en experimentos realizado en régimen batch han sido ajustados a un modelo cinético de primer orden. Dicho modelo asume que la etapa limitante en la velocidad del proceso de digestión anaerobia es la hidrólisis. El ajuste de los resultados obtenidos se lleva a cabo de acuerdo a la expresión (1) linealizada.

$$G = G_m [1 - e^{-k_o t}] \quad (1)$$

donde G (LCH₄ kgVS⁻¹) es el rendimiento de metano acumulado en un tiempo t (d), G_m es el rendimiento de metano máximo y k_o (d⁻¹) es la constante de velocidad de producción de metano.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Experimentos en régimen batch.

Se han realizado por duplicado dos experimentos en régimen batch. Se ha pretendido evaluar el efecto del tratamiento mecánico de molturado en el sustrato orujo de uva sobre el potencial de metano obtenido, y sobre otras variables analizadas consideradas de interés. En la Tabla 3 se puede observar como el tratamiento 2 al que ha sido sometido el orujo de uva lleva asociado rendimientos de metano más elevados que el tratamiento 1. Paralelamente, los valores mostrados en la reducción de SV han sido ligeramente mayores para los ensayos realizados con orujo de uva sometido al tratamiento T2. Sin embargo, en los valores obtenidos en las reducción de DQO no se han encontrado diferencias notables en ambos tipos de tratamiento estudiado.

TABLA 3. RESULTADOS OBTENIDOS EN EXPERIMENTOS BATCH REALIZADOS CON ORUJO DE UVA SOMETIDO A T1 Y T2.

PARÁMETRO	T1A	T1B	T2A	T2B
Reducción DQO, %	53.54	37.14	35.78	38.84
Reducción SV, %	49.11	52.69	62.57	57.74
Rendimiento metano, LN kg SV ⁻¹	295	285	390	380
Concentración metano media, %	56	49	63	61
k, d ⁻¹	0.0875	0.0955	0.0874	0.0967
r ²	0.9605	0.9681	0.9207	0.8915

r²: coeficiente de regresión lineal

En relación a los rendimientos de metano que se han mostrado en la Tabla 3 se presentan incrementos en torno al 25 % en los experimentos T2 con respecto a los experimentos T1. Este incremento en los rendimientos de metano obtenidos se puede relacionar con el tratamiento de molturado llevado a cabo sobre las semillas contenidas en el orujo de uva. En el interior de las semillas se encuentra aceite que al ser liberado puede llegar a aumentar los valores de concentración de metano en el biogás generado en varias

unidades. Este comportamiento se puede ver ilustrado en la Fig. 1 en la cual se representa la evolución del rendimiento de metano acumulado a lo largo del tiempo para los experimentos en régimen batch realizados.

Algunos autores [9] han estudiado la digestión anaerobia de pulpa y semillas de uva molidas por separado y han obtenido valores de rendimiento de metano de 343 LN kg SV⁻¹ y 214 LN kg SV⁻¹, respectivamente. Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación son mayores probablemente debido a la sinergia de las diferentes fracciones que componen el residuo orujo de uva.

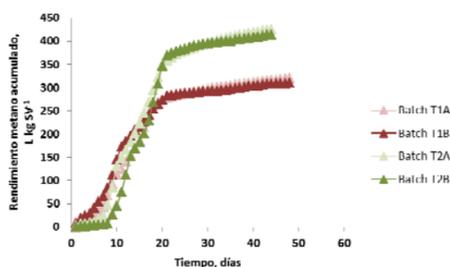


Figura 1. Rendimiento de metano acumulado para experimentos en régimen batch realizados por duplicado en orujo de uva sometido al tratamiento T1 y T2.

De los resultados de los ajustes cinéticos desarrollados sobre los valores de rendimientos de metano acumulado a lo largo del tiempo a una ecuación de primer orden se extraen los valores de las constantes cinéticas mostrados en la Tabla 3. En el ensayo T2B los valores de rendimientos de metano no se han ajustado a la ecuación evaluada. De los valores de las constantes cinéticas correspondientes a los experimentos T1A, T1B y T2A (0.0875 d⁻¹, 0.0955 d⁻¹ y 0.0874 d⁻¹) se deduce una velocidad de generación de metano similar en los ensayos T1 y T2. Esta similitud se puede observar en la tendencia mostrada en la Fig. 1. Valores de constantes cinéticas obtenidas por otros autores son comparables a los valores que se han obtenido en este trabajo. Thanikal y col. [10] obtuvieron valores de constantes cinéticas de 0.10 d⁻¹ para la digestión anaerobia de la uva. De acuerdo a un estudio realizado por Zahan y col. [11] la constante cinética determinada para el proceso de digestión anaerobia en sustratos vegetales de paja de trigo fue de 0.06 d⁻¹. Mientras que otro tipo de sustrato empleado en digestión anaerobia como son las microalgas han sido estudiados por los investigadores Zhen y col. [12] y han presentado unos valores de constantes cinéticas de 0.12 d⁻¹.

B. Experimentos en régimen semi-continuo

Una vez conocidos los potenciales de generación de metano del residuo orujo de uva sometido a los tratamientos 1 y 2 se han diseñado experimentos en régimen semi-continuos (Tabla 2) por duplicado. Se han evaluado los comportamientos de cada una de las variables más destacadas en el proceso de digestión anaerobia a lo largo del tiempo para el sustrato orujo de uva sometido al tratamiento 1 y 2. En primer lugar, se muestra la evolución del rendimiento de metano diario correspondiente a cada tipo de experimento (Fig. 2). En este caso se ha observado la misma influencia del tratamiento 2 en el rendimiento de metano que en los experimentos desarrollados en régimen batch. Los valores medios de rendimientos de metano obtenidos para los experimentos T1 corresponden a 81 LN kg SV_{ad}⁻¹ y 91 L kg SV_{ad}⁻¹, respectivamente para las réplicas

A y B, mientras que los valores medios de rendimientos de metano correspondientes a los experimentos T2 son 173 LN kg SV_{ad}⁻¹ para réplicas A y B. En el caso de sustratos de origen vegetal, resultados recogidos por Croce y col. [13] obtenidos a partir de paja de trigo corresponden a un rendimiento de metano de 178 L kg SV⁻¹ para una VCO de 1 g SV L_D⁻¹ d⁻¹, valor superado en el caso de los experimentos T2.

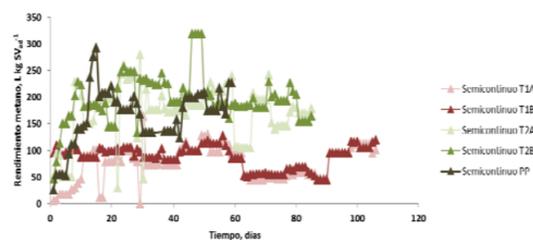


Figura 2. Evolución del rendimiento de metano a lo largo del tiempo correspondiente a los experimentos en régimen semi-continuo realizados por duplicado en orujo de uva sometido al tratamiento T1 y T2, y la experiencia en planta piloto.

En el caso de los experimentos realizados en régimen semi-continuo el incremento en los rendimientos de metano conseguido con el tratamiento 2 del orujo de uva con respecto al tratamiento 1 es del 50 %. Es posible que el aceite procedente de las semillas del orujo de uva extraído con la molturación en el tratamiento 2 requiera de mayores tiempos para la degradación (no evaluados en los ensayos en régimen batch para el tratamiento 2), pero una vez presente el aceite en el medio de digestión comience a degradarse y los rendimientos de metano obtenidos sean más elevados.

Para completar la evaluación de los experimentos que se han llevado a cabo en régimen semi-continuo, se muestran las Figs. 3 y 4. La tendencia mostrada en la Fig. 3 para el parámetro AGV refleja unos valores más elevados para los experimentos T1A y T1B que para los experimentos T2A y T2B. No obstante, en ambos casos los valores de AGV representados se encuentran por debajo de los valores umbrales establecidos como inhibitorios para el proceso de digestión anaerobia (4000 ppm [14]).

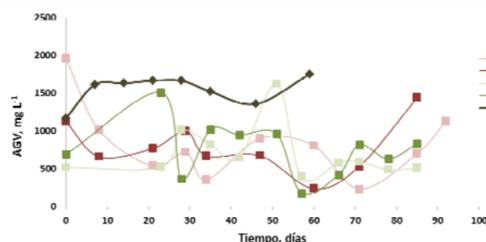


Figura 3. Evolución del parámetro AGV a lo largo del tiempo correspondiente a los experimentos en régimen semi-continuo realizados por duplicado en orujo de uva sometido al tratamiento T1 y T2, y la experiencia en planta piloto.

Con respecto a la tendencia observada en la evolución de los resultados obtenidos en los parámetros nitrógeno amoniacal y alcalinidad perteneciente a los experimentos desarrollados en régimen semi-continuo en el laboratorio (Fig. 4), se puede decir que todos se sitúan en valores idóneos para el proceso de digestión anaerobia (5000 mg L⁻¹ para el nitrógeno amoniacal [14] y superior a 1500 mg L⁻¹

para alcalinidad [15]). Los resultados obtenidos para ambos parámetros mostrados en la Fig. 4 son ligeramente menores en los experimentos en régimen semi-continuo correspondientes al tratamiento 2 que en los experimentos llevados a cabo en régimen semi-continuo pertenecientes al tratamiento 1. En concreto, el comportamiento representado para los parámetros nitrógeno amoniacal y alcalinidad en los experimentos T1 y T2 refleja valores muy parecidos al comienzo de los experimentos, apareciendo diferencias en dichos parámetros entre los experimentos T1 y T2 a partir de los 30 días aproximadamente. Estas diferencias probablemente sean causadas por las características físico-químicas del purín de cerdo empleado en el alimento en cada experimento debido a que el purín de cerdo empleado en los experimentos T1 (valores de alcalinidad y nitrógeno amoniacal más elevados, Tabla 1) ha sido distinto al empleado en los experimentos T2.

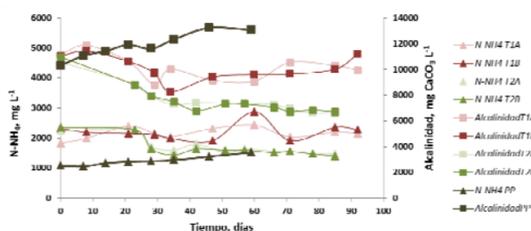


Figura 4. Evolución de los parámetros nitrógeno amoniacal y alcalinidad a lo largo del tiempo correspondientes a los experimentos en régimen semi-continuo realizados por duplicado en orujo de uva sometido al tratamiento T1 y T2, y la experiencia en planta piloto.

Todos los parámetros (rendimiento de metano, AGV, nitrógeno amoniacal y alcalinidad) se han sometido a un análisis estadístico ANOVA de un solo factor para todos los experimentos realizados en régimen semi-continuo. Los resultados extraídos de dicho análisis se reflejan en la Tabla 4.

TABLA 4. ANÁLISIS ANOVA DE RESULTADOS OBTENIDOS EN RENDIMIENTO DE METANO, AGV, NITRÓGENO AMONIAICAL Y ALCALINIDAD PARA TODOS LOS EXPERIMENTOS EN RÉGIMEN SEMI-CONTINUO.

Tipo experimento	Parámetro			
	Rendimiento metano, LN kg SV _{ad} ⁻¹	AGV, mg L ⁻¹	N-NH ₄ , mg L ⁻¹	Alcalinidad, mg CaCO ₃ L ⁻¹
T1A	81 ± 42 b	828 ± 203 b	2240 ± 155 b	9971 ± 1061 b
T1B	91 ± 16 b	836 ± 324 b	2274 ± 301 b	10285 ± 804 b
T2A	173 ± 39 a	648 ± 205 b	1623 ± 108 c	7256 ± 405 c
T2B	173 ± 33 a	652 ± 328 b	1543 ± 95 c	7152 ± 464 c
PP	173 ± 55 a	1601 ± 127 a	2954 ± 353 a	12094 ± 824 a

Letras diferentes en los resultados obtenidos para cada parámetro indican diferencias significativas estadísticamente para un nivel de confianza del 95 %.

Se puede ver reflejado en la Tabla 4 y en la Fig. 5 como se establecen diferencias significativas entre los tratamientos 1 y 2 en todos los parámetros evaluados, excepto en el parámetro AGV. En este último parámetro solamente se observa un incremento en el valor medio para el experimento en planta piloto. En relación a los valores medios presentados en la Tabla 4 de los parámetros nitrógeno amoniacal y alcalinidad se establecen tres grupos claramente diferenciados, el grupo correspondiente a los experimentos pertenecientes al tratamiento 1 en laboratorio, el grupo correspondiente a los experimentos desarrollados en

el laboratorio con el tratamiento 2 y finalmente el experimento en planta piloto.

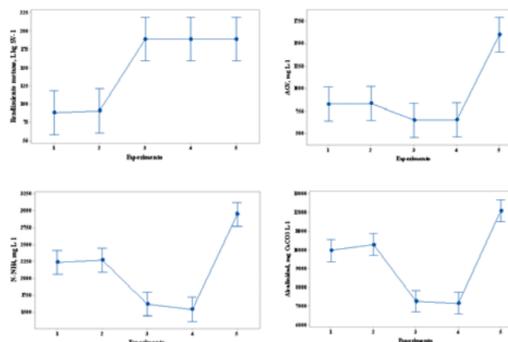


Figura 5. Resultados de valores medios obtenidos en los parámetros rendimiento de metano, AGV, nitrógeno amoniacal y alcalinidad para los experimentos realizados en régimen semi-continuo (1:T1A, 2:T1B, 3:T2A, 4:T2B y 5:PP).

C. Experimento en régimen semi-continuo en planta piloto

La experiencia que se ha desarrollado en planta piloto en régimen semi-continuo ha obtenido resultados de rendimientos de metano similares a los obtenidos en los experimentos T2 desarrollados en laboratorio (Fig. 2 y Tabla 4). En este caso la mezcla empleada como alimento ha estado compuesta solamente por purín de cerdo y orujo de uva sometida al tratamiento 2. El estudio de las variables AGV, nitrógeno amoniacal y alcalinidad indica una evolución constante o ligeramente al alza (Figs. 3 y 4), provocando valores medios más elevados en el análisis ANOVA que clasifican al experimento en un grupo independiente. Ello se puede explicar como consecuencia de la ausencia de co-sustratos en la mezcla alimento que compensen los valores elevados de dichos parámetros en el sustrato purín de cerdo. A pesar de ello, los valores medios alcanzados en los parámetros estudiados se encuentran alejados de los valores umbrales inhibitorios, por lo tanto no afectan a los resultados obtenidos en el rendimiento de metano. En los experimentos desarrollados a nivel de planta piloto la cantidad generada de digestato es importante. Por este motivo, el digestato obtenido de la experiencia estudiada ha sido evaluado y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5.

TABLA 5. ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN DE ELEMENTOS EN EL DIGESTATO GENERADO EN EL EXPERIMENTO EN PLANTA PILOTO.

Elemento	Digestato PP
N, %	0.31
P, %	0.17
K, %	0.42
Ca, %	0.31
Fe, %	0.02
Mg, %	0.09
Na, %	0.42
Al, %	0.01
Cd, ppm	16
Cr, ppm	97
Cu, ppm	22
Ni, ppm	93
Mn, ppm	20
Zn, ppm	71

En cuanto a la dosis de NPK que se puede aportar al suelo como biofertilizante con el digestato obtenido tras la experiencia de digestión anaerobia, corresponde a 0.31 % de N, 0.39 % de P_2O_5 y 0.50 % de K_2O . Dichos valores se encuentran muy parejos a los publicados por otros autores, como Reyes [16] que presenta en su trabajo unos valores de 0,50 % para K_2O y N, y 0,30 % para P_2O_5 , en muestras de purines de cerdo.

IV. CONCLUSIONES

La influencia del tratamiento de molturado del residuo orujo de uva en el proceso de digestión anaerobia ha sido positivo con respecto al rendimiento de metano obtenido tanto en régimen batch (295 LN kg SV^{-1} y 285 LN kg SV^{-1} para T1A y T1B frente a 390 LN kg SV^{-1} y 380 LN kg SV^{-1} para T2A y T2B) como en régimen semi-continuo (81 LN kg SV_{ad}^{-1} y 91 LN kg SV_{ad}^{-1} para T1A y T1B frente a 173 LN kg SV_{ad}^{-1} para T2A y T2B). Las variables estudiadas alcalinidad y nitrógeno amoniacal han estado situadas dentro de los valores adecuados para el óptimo desarrollo de la digestión anaerobia y han permitido de acuerdo a un análisis ANOVA establecer tres grupos diferenciados entre los experimentos T1, T2 y la experiencia en planta piloto. El digestato obtenido en la experiencia desarrollada en planta piloto puede aportar una dosis al suelo de 0.31 % de N, 0.39 % de P_2O_5 y 0.50 % de K_2O .

V. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido llevado a cabo como una parte de los trabajos desarrollados por CICYTEX asociados al proyecto IDERCEXA (Investigación, Desarrollo y Energías Renovables para la mejora del tejido empresarial en Centro, Extremadura y Alentejo) perteneciente al programa INTERREG-POCTEP, Programas de Cooperación Transfronteriza España y Portugal, financiado mediante Fondos FEDER.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] European Commission. "A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment". Directorate-General for Research and Innovation. Unit F-Bioeconomy. Belgium 2018.
- [2] Communication from the commission to the European Parliament, the European Economic and Social Committee, the Committee of the regions and the European Investment Bank. "A Clean Planet for all A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy". COM/2018/773 final, 2018.
- [3] <http://www.oiv.int/es/actualidad-de-la-oiv/la-producción-mundial-de-vino-en-2016-se-estima-en-259-mill-hl>. (Última consulta, Mayo 2019).
- [4] <http://www.mapama.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/vitivinicultura/>. (Última consulta, Mayo 2019).
- [5] APHA, "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater", 22 ed. American Public Health Association Washington, DC, 2012.
- [6] "Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes". EPA-600/4-79-020. U.S. Environmental Protection Agency. Environmental Monitoring and Support Laboratory, 1983.
- [7] K. Buchauer. "Titrations verfahren in der Abwasserund Schlam-manalytik zur Bestimmung von flüchtigen organischen Säuren". Das Gas- und Wasserfach (gfw). Wasser Abwasser, vol. 138 (6), 1997, pp. 313–320.
- [8] Norma UNE-EN 16948 "Biocombustibles sólidos, Determinación de contenido total de C, H y N. Método instrumental", 2015

- [9] J.H. El Achkar, T. Lendormi, Z. Hobaika, D. Salameh, N. Louka, R.G. Maroun, J.L. Lanoisellé. "Anaerobic digestion of grape pomace: biochemical characterization of the fractions and methane production in batch and continuous digesters". Sustain. Energy Technol. Assess. Vol. 29, 2018, pp. 44–49.
- [10] J.V. Thanikal, M. Torrijos, S.M. Rizwan, R. Hatem Yazidi, K. Senthil, P. Sousbie. "Anaerobic Co-digestion of vegetable waste and cooked oil in anaerobic sequencing batch reactor (ASBR)". Int'l J. Adv. Agric. Environ. Eng. Vol. 2, 2015, pp. 2349-1531.
- [11] Z. Zahan, M.Z. Othman, T.H. Muster. "Anaerobic digestion/co digestion kinetic potentials of different agroindustrial wastes: A comparative batch study for C/N optimisation", Waste Management, vol. 71, 2018, pp. 663-674.
- [12] G. Zhen, X. Lu, T. Kobayashi, G. Kumar, K. Xu. "Anaerobic co-digestion on improving methane production from mixed microalgae (Scenedesmus sp., Chlorella sp.) and food waste: Kinetic modeling and synergistic impact evaluation", Chemical Engineering Journal, Vol. 299, 2016, pp. 332-341.
- [13] S. Croce, Q. Wei, G. D'Imporzano, R. Dong, F. Adani. "Anaerobic digestion of straw and corn stover: The effect of biological process optimization and pre-treatment on total bio-methane yield and energy performance". Biotechnology Advances, Vol. 34, 2016, pp.1289-1304.
- [14] B. Drog. "Process monitoring in biogas plant". International Energy Agency (IEA) Bioenergy. 2017, Task 37 – Energy from Biogas and Landfill Gas.
- [15] V Plan Regional de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Investigación 2014-2017. Aprobado en el RD 243/2013 de 30 de Diciembre en DOE.
- [16] E.A. Reyes. "Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos", Revista Científica de FAREM-Estefí. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano, Vol. 24, 2017, pp. 64.



ANAEROBIC DIGESTION OF ORANGE PEELWASTE AND SWINE MANURE: A CENTRAL COMPOSITE DESIGN

Ana Parralejo Alcobendas, Berta Riaño Irazábal, María Cruz García González, Luis Royano Barroso, Juan Cabanillas Patilla, Jerónimo González Cortés

Ana Parralejo Alcobendas

Department of Field Crops: Biomass and Bioproducts
Centre for Scientific and Technological Research of Extremadura (CICYTEX).
Consejería of Economy and Infrastructure. Junta de Extremadura
Guadajira. 06187 Badajoz SPAIN
ana.parralejoa@juntaex.es

Luis Royano Barroso

Department of Field Crops: Biomass and Bioproducts
Centre for Scientific and Technological Research of Extremadura (CICYTEX).
Consejería of Economy and Infrastructure. Junta de Extremadura
Guadajira. 06187 Badajoz SPAIN
luis.royano@juntaex.es

Berta Riaño Irazábal

Technological Institute of Castilla and Leon (ITACYL). Ctra. Burgos, km 119 Valladolid. 47071 SPAIN
riairabe@itacyl.es

Juan Cabanillas Patilla

Department of Field Crops: Biomass and Bioproducts
Centre for Scientific and Technological Research of Extremadura (CICYTEX).
Consejería of Economy and Infrastructure. Junta de Extremadura
Guadajira. 06187 Badajoz SPAIN
juan.cabanillas@juntaex.es

María Cruz García González

Technological Institute of Castilla and Leon (ITACYL). Ctra. Burgos, km 119 Valladolid. 47071 SPAIN
GarGonMi@itacyl.es

Jerónimo González Cortés

Department of Field Crops: Biomass and Bioproducts
Centre for Scientific and Technological Research of Extremadura (CICYTEX).
Consejería of Economy and Infrastructure. Junta de Extremadura
Guadajira. 06187 Badajoz SPAIN
jeronimo.gonzalez@juntaex.es

Abstract- This work studies the methane potential for the anaerobic co-digestion of swine manure with orange peel waste. The influence of the initial substrate concentration and the percentage of orange peel waste were evaluated in batch experiments based on a central composite design. Both factors have a significant influence on specific methane production, observing an increase in specific methane production when the two factors were evaluated at their maximum levels. These results suggest that for a plant scale implementation maximum levels of substrate concentration and content of orange peel waste should be selected.

Keywords—anaerobic digestion, orange peel waste, swine manure.

I. INTRODUCTION

Spain was the large producer of oranges in the European Union (EU) in 2018 according to EU statistic office [1]. Concretely, Spain generated 54.8 % of the total production of oranges in the EU. An orange production of 3,717.4 millions of tons has entailed an increase of 10.4 % over the last year production's.

The extraction of high added-value compounds supposes an important valorisation of orange scratch and juice. The orange waste is composed by peel without scratch. The orange waste can be used as a raw material for energy

generation throughout anaerobic co-digestion with swine manure. In this way, the orange waste is probably an excellent co-substrate in the anaerobic co-digestion processes because it does not contain certain inhibitory compounds that favors the right development of these processes. Firstly, the citrus essential oils extracted from the citrus waste of the fruit contents a high limonene concentration that can be inhibitory for anaerobic co-digestion process [2,3]. Several works have evaluated the effect of limonene removal on anaerobic digestion [4,5,2,6]. Moreover, polyphenol compounds from orange scratch and orange juice are considered as inhibitory compounds in the anaerobic co-digestion processes. These compounds can be extracted from scratch or juice of different fruits to obtain bioactive compounds or other high added-value products [7,8].

The main aim of this work was to evaluate anaerobic co-digestion process of orange peel waste (OPW) and swine manure (SM) in batch experiments using a central composite design (CCD). The orange peel waste employed in the present study did not contain the scratch due to the possibility of further valorization for other purposes. The influence of the initial substrate concentration and the percentage of OPW were evaluated in terms of methane yield. In addition, the obtained digestates were characterized for their classification as fertilizers.

II. MATERIALS AND METHODS

A. Origin of substrates and inocula

Swine manure (SM) was collected from a pig farm located in Guadajira (Badajoz, Spain) (+38° 51' 9.6768", -6° 40' 15.5418"). The orange peel waste (OPW) was simulated after the extraction of the orange juice and the scratch peel to orange. This waste was grinded to obtain a paste. Both substrates were stored at -4 °C for further use. The anaerobic reactor used as inocula was obtained from an anaerobic sludge treating pig manure and prickly pear turned into paste for 5 years. Table 1 shows the chemical characterization of each substrate and the anaerobic sludge.

TABLE I. CHEMICAL CHARACTERIZATION OF INOCULA, OPW AND SM.

Parameter/Substrate	Inocula	OPW	SM
pH	7.77 ± 0.16	3.51 ± 0.13	7.85 ± 0.11
Alkalinity (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	8750 ± 57	-	11619 ± 78
C/N	2.84 ± 0.13	92.89 ± 6.00	4.12 ± 1.44
N-NH ₄ (mg L ⁻¹)	1760 ± 226	<30	3240 ± 339
COD _s (mg O ₂ L ⁻¹)	16500 ± 3536	288000 ± 15556	38500 ± 6364
Redox potential (mV)	-393 ± 21	-86 ± 19	-426 ± 8
TS _s (%)	1.68 ± 0.08	18.54 ± 0.14	3.97 ± 0.22
VS _s (%)	0.84 ± 0.01	18.39 ± 0.00	2.65 ± 0.01
TVFA _s (mg L ⁻¹)	794 ± 131	-	1449 ± 69

^aChemical Oxygen Demand; ^bTotal Solids; ^cTotal Volatile Solids; ^dTotal Volatile Fatty Acid.

B. Anaerobic digesters

Assays were carried out using 6 L cylindrical waterproof reactors built in stainless steel with a working volume of 4.5 L. A water jacket surrounding each digester allowed temperature remaining constant at approximately 38 °C (mesophilic range), checked by a thermostat. Mechanical agitation in the biodigesters was controlled by an independent regulator allowing optimal contact between substrates. Batch experiments were carried out based on a central composite design explained in section II.C. An inocula volume of 0.75 L was introduced into each reactor at the beginning of each batch experiment.

C. Experimental design

A central composite design (CCD) was carried out to study the anaerobic co-digestion of OPW and SM. Two factors, namely the substrate concentration based on VS (SC) and the proportion of OPW (% OPW) in the co-digestion mixture (based on VS), were selected for the experimental design. The selected range for factor 1 (i.e. substrate concentration) was from 2.5 to 27.5 g VS L⁻¹. The selected range for factor 2 (i.e. proportion of OPW) was between 0 and 100%. All the treatments were carried out in duplicate except for the central point (T9) which was repeated 6 times in order to estimate the experimental error. Batch reactors were prepared as previously explained in II.B. The experiments lasted for 73 days.

Response surface methodology was used to fit the experimental data into a second-order polynomial equation (1). The experimental response selected was the specific methane yield. This equation describes the influence of the two selected factors over the response:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_{12} + \beta_{22} X_{22} + \beta_{12} X_1 X_2 \quad (1)$$

where Y is the predicted response value, namely methane yield. β_0 , β_1 , β_2 , β_{11} , β_{22} y β_{12} are the regression coefficients. X_1 and X_2 are the evaluated factors (SC and % OPW). Excel was used to obtain the regression coefficients from the data set. The determination coefficient (R^2) was calculated to assess the quality of the fit of the polynomial model equation. The impact of the regression coefficients on the predicted response was determined by p-values and significant model terms were indicated by p-values lower than 0.05.

D. Analytical methods

Substrates characteristics were analyzed according to the Standard Methods [9]. Total solid (TS) content was determined by drying the sample to constant weight in an oven (JP Selecta Digitheat, USA) at 105 °C for 48 h (2540 B method). The Volatile solid (VS) content was obtained by heating the dried TS to constant weight at 550 °C for 2 h in a muffle furnace (Hobersal 12PR300CCH, Spain) at inert atmosphere (2540 E method). pH and redox potential were measured with their corresponding electrodes with a pH meter (Crison Basic 20, Spain), alkalinity of the medium through 2320 method, Chemical Oxygen Demand (COD) according to 410.4 method [10], N-NH₄ through E4500-NH3 B volumetric titration method and the Total Volatile Fatty Acids (TVFA) according to Buchauer [11] by titration methods. The initial C/N ratio in substrates was determined using an elemental analyser True-Spec CHN Leco 4084 (USA), according to the standard UNE-EN 16,948 for analysis of biomass C, N, H [12]. Gas composition and total gas volume were automatically monitored *in-situ* during the experiments with a gas analyser Awite System of Analysis Process serie 9 (Bioenergie GmbH, Germany). This analyser was composed of two IR sensors to take methane and carbon dioxide measurements, and three electrochemical sensors that supply values of hydrogen, sulfidric acid and oxygen content in the produced biogas. Gas counters (Ritter model MGC-1 V3.2 PMMA, Germany) were used to measure produced biogas stored in tedlar bags. Dry gas volume was corrected to standard conditions (0 °C, 101.325 kPa). Some elements (Cd, Cr, Cu and Ni) in the digestate were detected by spectroscopy technique using an ICP-OES Varian 715 ES (Australia). Previously, samples were digested in a laboratory microwave Millestone Start D (Italy).

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. Anaerobic co-digestion study

Anaerobic co-digestion of OPW and SM was investigated by a central composite design (CCD). The coded and actual values corresponding to the studied factors (concentration of substrate (SC) and proportion of OPW (% OPW)) and response (i.e. methane yield) from the batch tests are presented in Table 2.

TABLE 2. A) CODIFIED, REAL VALUES AND RESPONSE FOR SWINE MANURE CO-DIGESTION IN BATCH EXPERIMENTS. B) REGRESSION RESULTS FOR SWINE MANURE CO-DIGESTION IN BATCH EXPERIMENTS.

A)

*Data are means of two replicates, except T9, which data are means of six replicates. Standard deviation is shown in brackets.

Treatments	Codified values		Real values		Real response *
	SC (g VS L ⁻¹)	% OPW	SC (g VS L ⁻¹)	% OPW	Y (mL CH ₄ g ⁻¹ VS added)
T1	-1	1	6.16	85.36	212.4 (107.0)
T2	-1	-1	6.16	14.64	50.8 (8.0)
T3	1	1	23.84	85.36	46.8 (1.6)
T4	1	-1	23.84	14.64	81.6 (12.6)
T5	0	1.4142	15.00	100.00	334.3 (14.5)
T6	0	-1.4142	15.00	0.00	52.43 (61.3)
T7	-1.4142	0	2.50	50.00	158.4 (68.7)
T8	1.4142	0	27.50	50.00	278.6 (15.1)
T9	0	0	15.00	50.00	201.2 (55.2)

B)

	Y (mL CH ₄ g ⁻¹ VS added)	
	Coefficient	Prob
β ₀	220.9	<0.001
β ₁	44.7	0.005
β ₂	102.9	<0.001
β ₁₁	-7.0	0.645
β ₂₂	-23.9	0.130
β ₁₂	31.4	0.160

R²= 0.8437, Adj. R²= 0.7836, r= 0.9185
F value= 14.04, Prob>F= 7.5*10⁻⁵

R², correlation coefficient; Adj. R², adjusted correlation coefficient; r, regression coefficient; F value, value resulted from the F-test

When considering methane production obtained from SM and OPW co-digestion it was observed that all treatments raised the expected methane potential production, except T3 (Fig. 1). This treatment was characterized by high concentration of solids and orange peel waste content. Molinuevo-Salces et al. [13] observed an organic overload during the co-digestion of swine manure and vegetable wastes for T3 that resulted in TVFA accumulation. When TVFA were steady consumed, methane production started, however methane production for T3 seemed not to be completely stopped at the end of an experimental time of approximately 90 days, leading to underestimating response values. The high substrate/microorganisms ratio resulted in high TVFA formation with a delay on methane production due to partial inhibition over methanogenic bacteria. The same behavior was obtained in the experiences developed by Ruiz and Flotats [3] when digesting grinded orange peel. Based on the previous statement, T3 values were excluded when adjusting data to the model.

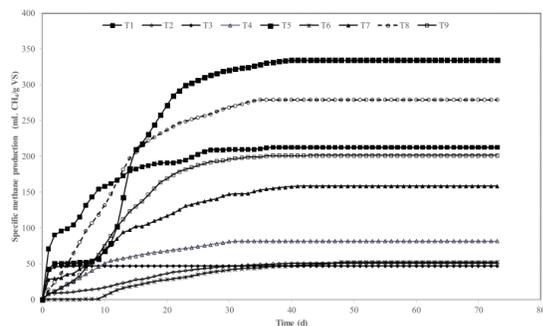


Figure 1. Accumulated methane yield for T1-T9.

The regression analysis for the co-digestion of SM and OPW resulted in Eq. (2) for the specific methane yield:

$$Y_{CH_4} = 220.9 + 44.7 (SC) + 102.9 (\% OPW) - 7.0 (SC)^2 - 23.9 (\% OPW)^2 + 31.4 (SC) (\% OPW) \quad (2)$$

The response model presented a determined R² coefficient of 0.8437, which means that the assessed factors and their interactions are able to explain 84% of the data variability found in the response specific methane yield. As previously stated, the response did not take into consideration data obtained from treatment T3. Regression results show a statistically significant model, since the actual F-value (14.04) is higher than the calculated one (7.5 x 10⁻⁵). P-values were lower than 0.05 for both studied factors (Table 1), indicating that both of them have a significant influence on specific methane production.

Treatments with a constant value of SC (T5, T6 and T9) exhibited an increase of methane production with an increment in OPW. This influence can be observed in the response surface plot (Fig. 2). The improvement in methane yield seems to be related with the high biodegradability of OPW added as co-substrate. The large biodegradability of this substrate was proven when digesting 100% of OPW and resulted in the highest methane yield (T5). A similar behavior was observed for systems T1 and T2 presenting both the same value of factor SC with T1 system being evaluated at a higher level of factor OPW.

On the other hand, treatments with a constant value of OPW (T7, T8 and T9) evaluated at different levels of SC factor follow the same tendency (Table 2). The highest specific methane production (276 mL CH₄ g VS⁻¹) corresponded to T8 (with a SC of 27.5 g L⁻¹). This behavior can be observed in the response surface plot (Fig. 2).

As conclusion, based on experimental results obtained from the two responses analyzed it is observed that, in general an increase in specific methane production was observed whenever the two factors are evaluated at their maximum levels. In this sense, when considering implications related to plant scale implementation maximum levels of substrate concentration and content of OPW may be selected.

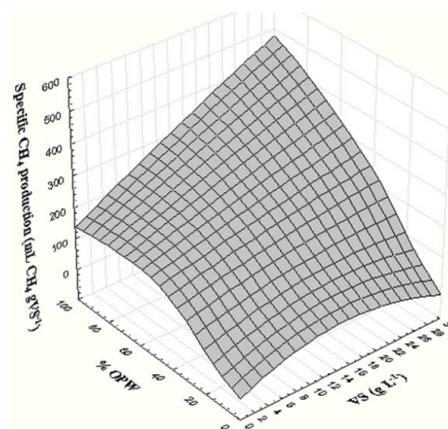


Figure 2. Surface response plot for specific methane yield response.

TABLE 3. CHEMICAL CHARACTERIZATION FOR DIGESTATES OBTAINED IN ANAEROBIC CO-DIGESTION ASSAYS.

Parameter /Substrate	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
pH	7.91 ± 0.02	7.91 ± 0.53	5.29 ± 0.08	7.63 ± 0.05	7.30 ± 0.01	7.30 ± 0.01	7.64 ± 0.04	7.73 ± 0.03	7.79 ± 0.24
Alkalinity, (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	3009 ± 60	5594 ± 274	5722 ± 677	9459 ± 332	4746 ± 70	6148 ± 205	4714 ± 184	4015 ± 97	5166 ± 790
C/N	24.11 ± 13.24	7.65 ± 1.81	14.08 ± 2.71	5.22 ± 0.27	10.57 ± 2.26	20.96 ± 5.10	21.07 ± 6.83	6.62 ± 0.48	8.51 ± 0.74
N-NH ₄ , (mg L ⁻¹)	900 ± 85	1540 ± 141	970 ± 99	2440 ± 0	1120 ± 113	1540 ± 28	1460 ± 311	2060 ± 255	1333 ± 136
COD ^o , (mg O ₂ L ⁻¹)	55000 ± 0	45000	36500 ± 7778	27500 ± 2121	69500	64000 ± 5657	59000	21500 ± 4950	15833 ± 4875
Redox potential(mV)	28 ± 6	-267 ± 146	-98 ± 30	-379 ± 16	-254 ± 11	-243 ± 168	-106 ± 12	-251 ± 42	-124 ± 44
TS(%)	0.43 ± 0.02	1.99 ± 0.31	1.34 ± 0.07	2.78 ± 0.22	1.77 ± 0.30	1.60 ± 0.08	2.35 ± 0.13	2.39 ± 0.34	1.19 ± 0.17
VS(%)	0.21 ± 0.00	1.19 ± 0.00	0.91 ± 0.00	1.69 ± 0.00	1.04 ± 0.00	0.95 ± 0.00	1.40 ± 0.00	1.38 ± 0.00	0.67 ± 0.01
TVFA, (mg L ⁻¹)	407 ± 35	656	7826 ± 1160	12089 ± 26	928	466	928	901 ± 214	627 ± 289

B. Evaluation of the obtained digestate as fertilizer

The characterization of the digestates obtained after anaerobic co-digestion assay is detailed in Table 3. The high TVFA concentration obtained in digestates from T3 explained the low methane production in this treatment. pH value in this digestate was also very low which it is typical of acidogenic/acetogenic stage, that occurs before methanogenic stage.

Digestates from treatments with a constant value of SC (T5, T6 and T9) presented a decrease of pH and alkalinity with the increment of OPW in the mixture. On the other hand, digestates from treatments with a constant value of OPW (T7, T8 and T9) showed a slight increase concentration of the inhibitory parameters (ammonia nitrogen and TVFA) when SC increased in the mixture. However, the anaerobic co-digestion process is not affected by this increase; thus, among these treatments, the highest methane yield was obtained for T8, that was the treatment with the highest SC amount in the mixture digested.

A classification of fertilizers obtained from waste treated by anaerobic digestion process is contemplated in the RD 999/2017 about fertilizer products in Spain [15]. The classification based on heavy metal concentration is shown in Table 4. The results obtained for the digestates composition in some heavy metals are presented in the Table 5. Digestates obtained in this study are set in the class A for digestates from T3, T4 and T8, and in the class B for the rest of digestates.

TABLE 4. MAXIMUM LEVEL ALLOWED FOR HEAVY METALS IN FERTILIZERS FROM DIGESTATES ACCORDING TO RD 999/2017.

Fertilizer classification	A	B	C
Cd, ppm	0.7	2	3
Cu, ppm	70	250	300
Cr, ppm	70	300	400
Ni, ppm	25	90	100

TABLE 5. CLASSIFICATION OF FERTILIZER BASED ON THE CONCENTRATION OF HEAVY METALS.

Heavy metal (ppm) /Digestate	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cu	101.62 ± 4.81	177.32 ± 19.55	13.21 ± 0.24	29.78 ± 1.33	231.41 ± 5.88	194.51 ± 4.23	159.62 ± 14.62	20.93 ± 0.78	78.59 ± 4.59
Cr	13.86 ± 4.39	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	14.30 ± 4.38	n.d.	n.d.	n.d.
Ni	33.91 ± 4.80	6.57 ± 2.03	<5	7.52 ± 0.43	11.09 ± 1.30	24.01 ± 5.34	13.99 ± 1.70	<5	22.76 ± 4.64
Fertilizer classification	B	B	A	A	B	B	B	A	B

IV. CONCLUSIONS

Anaerobic co-digestion of OPW and SM was investigated by a central composite design (CCD) and two factors were selected: the substrate concentration based on VS (SC) and the proportion of OPW (% OPW) in the co-digestion mixture (based on VS). The response model presented a determined R² coefficient of 0.8437. Experimental results obtained from 9 different designed treatments showed an increase in specific methane production whenever the two factors are evaluated at their maximum levels.

A classification of fertilizers obtained from waste treated by anaerobic digestion according to Spanish normative (RD 999/2017) based on heavy metal concentration was carried

out. Digestates from T3, T4 and T8 were included in the class A and the rest of digestates in the class B.

V. ACKNOWLEDGMENT

This research was carried out as a part of the INIA Project: "Sustainable management and revalorisation of agrofood by-product feeding, energy and agronomic use" ((RTA2015-00060-C04) by researchers from ITACYL and CICYTEX centres.

REFERENCES

- [1]Eurostat, “Eurostat: your key to European statistics”. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-catalogues/-/KS-02-17-839?inheritRedirect=true> (accessed: May 2019).
- [2]B. Ruiz, X. Flotats. “Citrus essential oils and their influence on the anaerobic digestion process: An overview”. *Waste Management*, vol. 34, 2014, pp. 2063-2079.
- [3]B. Ruiz, X. Flotats. “Effect of limonene on batch anaerobic digestion of citrus peel waste”. *Biochemical Engineering Journal*, vol. 109, 2016, pp. 9-18.
- [4] P.S. Calabrò, E. Paone, D. Komilis. “Strategies for the sustainable management of orange peel waste through anaerobic digestion”. *Journal of Environmental Management*, vol. 212, 2018, pp. 462-468.
- [5] M. A. Martín, J.A. Siles, A.F. Chica, A. Martín. . “Biomethanization of orange peel waste”. *Bioresource Technology*, vol. 101, 2010, pp. 8993- 8999.
- [6] V. Negro, B. Ruggeri, D. Fino, D. Tonini. . “Life cycle assessment of orange peel waste management”. *Resource, Conservation & Recycling*, vol. 127, 2017, pp. 148-158.
- [7]J. Pérez-Jiménez, F. Saura-Calixto. «Fruit peels as sources of non-extractable polyphenols or macromolecular antioxidants: Analysis and nutritional implications”. *Food Research International*, vol.111, 2018, pp.148-152.
- [8]N.P. Kelly, A.L. Kelly, J.A. O’Mahony. “Strategies for enrichment and purification of polyphenols from fruit-based Materials”. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 83, 2019, pp. 248-258.
- [9]APHA, “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater”, 22 ed. American Public Health Association Washington, DC, 2012.
- [10]EPA, “Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes”, EPA-600/4-79-020. U.S. Environmental Protection Agency. Environmental Monitoring and Support Laboratory, 1983.
- [11] K. Buchauer. “Titrations verfahren in der Abwasserund Schlam-manalytik zur Bestimmung von flüchtigen organischen Säuren”. *Das Gas- und Wasserfach (gfw). Wasser Abwasser*, vol. 138 (6), 1997, pp. 313–320.
- [12]Norma UNE-EN 16948 “Biocombustibles sólidos, Determinación de contenido total de C, H y N. Método instrumental”, 2015.
- [13]B. Molinuevo-Salces, M.C. García-González, C. González-Fernández, M.J. Cuetos, A. Morán, , X. Gómez. “Anaerobic co-digestion of livestock wastes with vegetable processing wastes: a statistical analysis”. *Bioresource Technology*, vol. 101, 2010, pp. 9479-9485.
- [14]Spanish Royal Decree 999/2017, de 24 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. BOE nº 296.



Validation of a Sustainable Model for the Mining-metallurgical Industry in Mexico

Rosa Elia Martínez Torres, Mariusz Bednarek, Urszula Zulawska

Rosa Elia Martínez Torres
Instituto Tecnológico de San Luis Potosí
Tecnológico Nacional de México
San Luis Potosí, México
m.rosaelia@gmail.com

Mariusz Bednarek
Faculty of Social Sciences
University of Lodz
Lodz, Poland
mb@eventgroup.pl

Urszula Zulawska
Faculty of Social Sciences
University of Lodz
Warsaw, Poland
zulawska@world.pl

Abstract— Mexico is identified in the world as a nation that produces a large amount of minerals that contribute to economic mobility. However, as a consequence of the mining activity, negative assumptions have been generated regarding the impact caused to the environment, since by nature, this industry tends to be aggressive in its processes. Therefore, it is considered a research study that offers a proposal for a sustainable model that is based on elements such as: literary foundations, sustainable universal principles and legislative parameters; and that, in addition, is supported by the best environmental practices, which lead to minimization or eradication of impacts or risks of environmental impact. The objective of this document is to describe the validation of the sustainable model for the mining-metallurgical industry in Mexico, through the design of qualitative research that is based on the integrated multiple case study method. Its scope is limited to the presentation of validation and other preliminary results, considering in future publications to provide specific results of the case studies and the implementation of the model.

¹ ***Keywords— environmental management, sustainability, sustainable development, Mining-metallurgical Process.***

II. INTRODUCTION

The mining-metallurgical industry represents an important economic bastion, in 2017, which has allowed 120 countries to increase their foreign capital investment, productivity, exports and employment, which are then key factors that contribute to these countries' economic and financial improvement. In Mexico this industry is responsible for the production of 53 different minerals, which consist of: 11 metallic minerals and 42 non-metallic minerals. Around 70% of Mexico's territorial extension has favorable geological features that allow the development of mining projects; this makes it one of the most important mineral-producing countries worldwide [1].

The Mexican sub secretariat of Promotion and Environmental Regulation is in charge of regulating this industry's environmental impact by promoting an optimal environmental care [10]. This sub secretariat, for its operation within the mining-metallurgical industry presents detailed descriptions of the stages of the mining-metallurgical process, for its analysis in terms of environmental impacts, these being recorded in official reports as: Environmental Impact Manifests and Evaluation of Environmental Impact.

The stages of the mining-metallurgical process are [10]: (1) *Exploration*: the areas of interest are recognized, in order to confirm the physical and chemical characteristics that show that mineral deposits exist. (2) *Exploitation*: works designed to prepare and develop the area where there are mineral deposits, as well as activities aimed at extracting said minerals or substances from nature. (3) *Concentration of minerals* (metallurgy): works of preparation and treatment, smelting and refining of extracted mineral products, with the purpose of recovering minerals and substances in terms of purity (separation). (4) *Closing*: once the mining-metallurgical operation ends, the closure must be planned strategically, with the vision of reintegrating the property used to its natural or urban environment.

Each part of the mining-metallurgical process has a different magnitude of environmental risk during its execution. There is a notable disassembly between what every unit in this sector promotes as the main and most important parts of their management (Ecologic programs, sustainability, environmental responsibility, etc.). The results of these evaluations are occasionally noticeable, often being published by national news companies, affecting the communities' perception and allowing the growth of radical groups which present themselves as non-profit organizations.

As a result, there is a need to create a sustainability model that includes these different perspectives, which should be based on the legal, social and operational duties of these mining-metallurgical units. This model is founded on four pillars: (1) a theoretical construct that takes in mind sustainability and the new sustainable development trends in the world, (2) universal principles that allow us to describe this sector's environmental strategy, (3) parameters that obey the country's laws and, (4) best practices based on the operations and productive processes of the units. The objective of this document is to show the bases of the sustainability model to reduce and avoid environmental impact risk and environmental impact.

III. THEORETICAL BASIS

The elements that constitute the base of the new sustainable model must be properly articulated in order to consolidate new execution parameters in each industry unit. Each of these units will arrange supportable and provable information according to national and international agreements, productive processes' results and the environmental care strategies that each of these mining units is implementing. This environmental sustainability model gives the sector companies theoretical and methodological tools to minimize or eradicate impact risks while allowing the productive stage of each of the units. It is organized into four elements:

The first element that is considered as a theoretical basis is the discussion between Sustainability and Sustainable Development. This is the cause of a possible conflict of definition in these concepts; in their execution. They can be synonymous, however, in their implementation: sustainability originates in the management, while sustainable development is part of the practices [7].

Sustainability is part of strategic planning, focusing on ecological and spatial impacts, the latter (1) the supply (consumption of water, energy, fuels) and (2) sanitation (solid waste, wastewater, toxic gases) . It also considers aspects of the problems (scientific and ethical) and, at the same time, considers the limits and maximum possible requirements to maintain the standard of living and economic development [7]. Sustainable Development, is an alternative principle to generate a balance between economic growth, social justice and the environment; therefore, it means that there are necessary programs in which the inclusion of human habits tend to the equity of consumerism and the creation of services and opportunities and, more efficient production and operation processes that take advantage of the use of renewable resources [7].

Therefore, it is considered from the analysis of these concepts, a research own definition: *Sustainable refers to environmental practices endorsed by legislation through normativity, which allow industry and society to guarantee natural resources to future generations; these practices are integrated into strategic plans from business management.*

Regarding the second element, governments around the world considered sustainable development efforts and, together, led the economic, social and environmental challenges. As a result, they have proposed 17 Sustainable Development Goals (SDGs), which emerge within the framework of a United Nations Congress and are raised in the "Agenda 2030", among these, there are at least six that directly force practices for the benefit of the environment: (1) clean water and sanitation, (2) industry, innovation and infrastructure, (3) sustainable cities and communities, (4) responsible production and consumption, (5) action for climate, and (6) terrestrial and life ecosystems [9]. Four of these objectives were considered in this project "Fig. 1", which become the main axis of the study and from now on they will be called *Sustainable Principles*.

SUSTAINABLE PRINCIPLES

Sustainable principle	Description	Goals that apply to the mining-metallurgical sector
Industry, innovation, and infrastructure	Growth and urbanization generate the need for new investments in sustainable infrastructures that allow cities to be more resistant to climate change and promote economic growth and social stability.	Develop reliable, sustainable, resilient and quality infrastructures to support economic development and human well-being.
		Promote an inclusive and sustainable industrialization; provide financial, technological and technical support.
		Increase scientific research and improve the technological capacity of the sector.
Sustainable cities and communities	Cities are required with opportunities, access to services, energy, housing, transportation and more facilities. Cities are characterized as centers that concentrate commerce, culture, science, productivity, creativity, social and economic development.	Provide access to safe, affordable, accessible and sustainable transport systems.
		Increase inclusive and sustainable urbanization and capacity for participatory, integrated and sustainable planning and management of human settlements.

		Reduce the negative environmental impact per capita of cities, including paying special attention to air quality and the management of municipal and other types of waste.
Responsible production and consumption	Create more and better things with fewer resources, increasing net profits by reducing resource utilization, degradation and pollution, achieving a better quality of life. Adoption of a systemic approach to achieve cooperation among participants: companies, consumers, government, organisms, researchers, scientists.	Achieve sustainable management and efficient use of natural resources.
		Achieve environmentally sound management of chemicals and all wastes throughout their life cycle and reduce their release to the atmosphere, water and soil in order to minimize their adverse effects on human health and the environment.
		Significantly reduce the generation of waste through prevention, reduction, recycling and reuse activities.
Terrestrial and life ecosystems	Nature, seen as ecosystems, occupies 30% of the earth's surface, which provides food security and shelter, fundamental to combat climate change, by protecting biological diversity. The challenges for sustainable development are: deforestation and human desertification, through the restoration of ecosystems.	Ensure the conservation, restoration and sustainable use of terrestrial ecosystems and inland freshwater ecosystems and their services, particularly forests, wetlands, mountains and arid zones.
		Promote the implementation of sustainable management of all types of forests, stop deforestation, recover degraded forests and significantly increase afforestation and reforestation.
		Adopt urgent and significant measures to reduce the degradation of natural habitats, stop the loss of biodiversity and protect threatened species and prevent their extinction.

Fig. 1. Relationship of objectives of sustainable development and operating process of the mining-metallurgical sector- extract. Source: own elaboration.

The companies of the mining sector, like the rest of the industries, are attached to the regulations, which are described for evaluation and monitoring, in the legislation of the country, this became the third element of the study. The normativity analysis, takes the environmental aspect to mitigate impacts, that is why companies in the mining sector must describe the impact risks in official reports. On this basis, the agencies that belong to the government sector assess their veracity in the document: Environmental Impact Manifestations (EIM). This report describes 109 parameters, of which 16 have been selected to carry out this research: usefull lifetime, technical manager, nature of the project, dimensions, land use, urbanization of the area, site preparation, construction of works operation and maintenance, abandonment, explosive use, generation and management of waste, management infrastructure and waste disposal, abiotic aspects, biotic aspects and landscape [10]. As an example, “Fig. 2” shows some of these legislative parameters with their respective description, which represents why it is directly related to sustainable principles.

ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Environmental parameters	Description according to environmental impact Manifest
Dimensions	Specifying the total area, it is necessary to consider the entire territorial extension, to describe the possible risks that are run: rivers, mountains, valleys, lagoons and document it to mitigate the impact in the remediation stage.
Land use	It is required to specify the use of land in the area: agricultural, livestock, forestry, human settlement, industrial, tourism, mining, protected, without obvious use; Regarding the body of water: public supply, recreation, fishing, aquaculture. With this it is foreseen that the alteration that is suffered, does not modify in essence, the ecosystem, neither during the operation nor in the remediation.
Urbanization of the area	Availability of basic services and support in the vicinity. Manage the operation to obtain infrastructure, build it or operate it. Access roads, drinking water, electricity, drainage; treat residual water, telephone lines.

Site preparation	Describe the design of each of the stages of the mining process, to know and associate the effect of such design with the reduction of injuries to the environment and the remediation that will be gestated in order to mitigate or avoid impacts.
------------------	---

Fig. 2. Extract of the relationship of environmental parameters and their description. Based on Environmental Impacts Manifest. Source: own elaboration

The proposed sustainable model was validated to demonstrate its effectiveness, so it was implemented in units that belong to the mining-metallurgical sector through an appropriate research method. Individual information is complemented with the rest of the units and, the result of best practices constitutes the fourth element of the model.

In the following scheme “Fig. 3”, the structure that acquires the proposed sustainable model is shown; in the first three elements (E1, E2 and E3), the literature required to reach the fourth and new element is presented (E4-N), which is displayed as added value by this research.

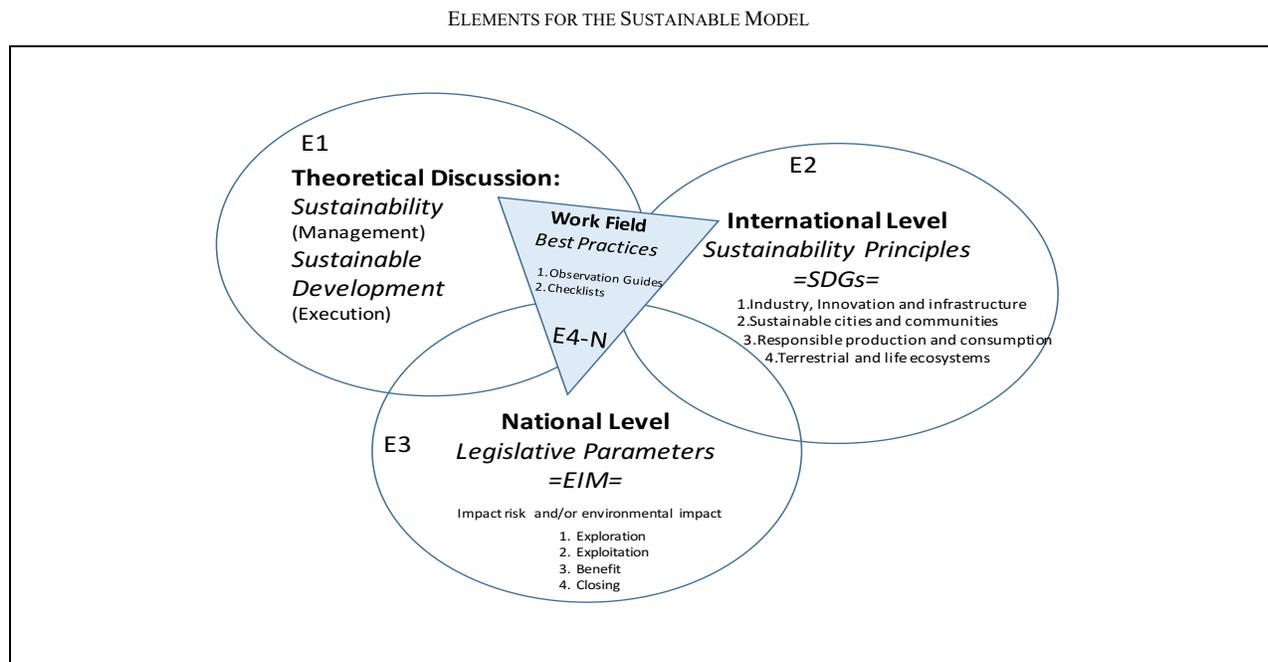


Fig. 3. Elements that consolidate Sustainable Model for the Mining-metallurgical Industry. Source: own elaboration

IV. METHODOLOGICAL BASIS

A qualitative research method was designed: *integrated multiple case study* [10], which had an emphasis on an interpretive constructivist paradigmatic perspective. Through a selection of units of analysis, four being chosen for convenience [11], the case study allowed an alignment with the four elements described above. In addition, a participatory observation was used as a non-evaluative data collection strategy, to describe it attached to reality [10].

Observable elements and unobservable elements were considered. The instruments used to obtain the information were: observation guide, documentary compilation, interview and checklist. These were built based on the analysis of official documents, reports and sessions with experts in the fields of mining and the environment. They were subjected to pilot tests to facilitate their handling in the field work and in the adequate registration of the information obtained.

Following the methodology with the approach that Yin [14] proposes, each case study in each unit of analysis accorded with the systematically planned stages, among which three main ones are considered: preoperative stage, which includes literary support, construction of instruments for the data collection and programming; stage of field work, which included the application of the instruments created and, stage of analysis and interpretation, in which the participation of experts in mining and environmental matters to carry it out was considered.

Once the information from the analysis units was obtained, the data were triangulated, linking them with the elements of the model (conceptualization, sustainable principles and legislative parameters). This activity provided the opportunity

to make comparisons in environmental activities and programs, which served to formalize a proposal for a guide to best practices.

The validation of the model follows compliance with the criteria of quality, validity or rigor of qualitative research [11]. *Dependence* refers to the consistency of the data, *credibility* is related to the validity of the constructions and the content; *transfer* is the applicability of the results and, finally, the *confirmation*, which is measured by minimizing the biases of the researchers.

V. RESULTS

The analysis units belong to representative companies of the mining-metallurgical sector, defining them as: (1) mines, with their own characteristics and specific geographical location, and (2) refineries, companies in the sector that provide continuity to the metallurgical process once the extraction stage of the mines ends. The “Fig. 4” presents the selection that conform this integrated multiple case study, according to the transfer criteria.

ANALYSIS UNITS

Fig. 4. Selection of Analysis units considering convenience criteria. Source: own elaboration.

CLASSIFICATION	NAME OF THE UNIT	CORPORATE GROUP	MINERAL EXTRACTED OR PROCESSED
Underground mine	MSJ	Arian Silver Inc.	Silver concentrate, Lead. Metallic
Open pit mine	JRU	Small Miner	Fluorite concentrate. Non-metallic
Refinery	REZ	Grupo Industrial Minera México	Zinc, Sulfuric acid
Unit in closing	MSX	New Gold Inc.	Gold (dore),Silver

convenience criteria. Source: own elaboration.

Taking into account the credibility criteria through the validity of the content, once the four case studies were carried out, a review of the literary foundations was made in relation to the risks of impact on the productive stages of the sector and the information that units provided. In the “Fig. 5”, the impacts or risks of the environmental impact are listed, as a result of the observable elements in the analysis units.

IMPACTS AND RISKS OF ENVIRONMENTAL IMPACT

Sustainable Principle	Stages of the Mining-metallurgical process			
	Exploration	Exploitation	Concentration	Closing
Industry, innovation and infrastructure	<ol style="list-style-type: none"> 1. Construction of roads for exploration machinery. 2. Construction of squares. 3. Water use. 4. Maintenance of equipment in the field, use of supplies. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Displacement of material in the open sky and in underground developments. 2. Formation of sites 3. Training of mounds. 4. Construction of workshops for services. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Obtaining tailings as waste. 2. Use and containment of chemical reagents. 3. Excessive use and contamination of water. 4. Spills. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Technical studies and incomplete supervision. 2. Rules not fulfilled.
Sustainable cities and communities	<ol style="list-style-type: none"> 1. Construction of roads and steps. 2. Limited economic resource and, on the other hand, not limited. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Creation of non-governmental organizations (stakeholders). 2. Use of explosives without prior technical studies. 3. Construction of roads without considering populations. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Creation of non-governmental organizations 2. Small miners without economic resources, do not support the community. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Creation of non-governmental organizations 2. Limited economic resources do not support community.

Responsible production and consumption	<ol style="list-style-type: none"> 1. Displacement of material by exploration work. 2. approach the <i>water table</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Construction of luminaries. 2. Construction of underground mine shots. 3. Construction of tunnels. 4. Extraction of gases into the atmosphere. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Excessive water consumption. 2. Storage of obsolete reagents in the concentration plant and laboratories. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Water pollution. 2. Construction of tailings dam without slopes
Terrestrial and Life ecosystems	<ol style="list-style-type: none"> 1. Construction of roads. 2. Construction of squares. 3. Use of oil. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Formation of land. 2. Formation of mounds. 3. Construction of industrial buildings, infrastructure. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Obtaining tailings as waste. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Infrastructure construction. 2. Insufficient or no economic programming for closing and remediation stages.

Fig 5. Impact risks and environmental impacts categorized by phase of the process and by sustainable principle. Source: own elaboration.

This information was ordered according to the results of each unit of analysis and serves as the basis for creating the "Best practices" guide, since special attention is given to risk prevention when any of the situations mentioned above arises.

The Sustainable Model for the Mining-metallurgical Industry in Mexico, was validated, once each case study was carried out. This validation is presented based on the four quality criteria proposed by qualitative research.

[1] *Dependency*, is consolidated when experts in the mining-environmental field, reviewed, analyzed and interpreted the information obtained from each unit of analysis, having reached congruent and similar interpretations.

[2] *Credibility* or "maximum validity", whose conjunctions of meanings and experiences are linked to the research approach, being the proposals, suggestions and corrections of advisers in research methodology and mining technical advisers, who provide the relevant guidance to avoid trends and, therefore, generate quality required to accept this criterion; It also validates constructions and contents.

[3] *Transfer* refers to the application of the results, in this case the sustainable model in other scenarios. This criterion was validated once the model was implemented in four different units, according to its own characteristics. The possibility of replicating it in more mining-metallurgical units is part of the general objective of the formal research that supports this document.

[4] *Confirmation*, validated by the participation of the General Managers, Bosses, Managers or Persons Responsible for the "environment" of the analysis units, who guided the veracity of the responses, showed evidence and remained attentive to the interpretations that the researcher and Experts have described about the information they provided.

The results of the analysis units are expressed in terms of compliance or non-compliance with the sustainable principles and the effectiveness of the legislative parameters, analyzed from the perspective of observable impacts and unobservable impacts. Prepared and planned remediation activities are described, as well as the necessary budget items and whether they have been considered over time. The general perception of the surrounding community and the urbanization works that have been carried out or planned to be carried out are contemplated. It is linked to the objectives of each principle, where descriptions of the activities to achieve it are made and emphasis is placed on erroneous activities that depart from the objectives.

In addition, each unit, with its different characteristics, has a tendency for more elaborate and effective practices than others, which allowed the formalization of the best practices guide, which is under review. This guide is intended to strengthen alternative or contingency plans, minimizing risks. As a tangible result, the attention of the personnel of the units is captured through the adaptation of the expression of sustainability, incorporating it into the evaluated principles and the model itself.

REFLECTIONS

The first reflection on the bases that exist for the construction of a sustainable model for the mining-metallurgical industry of Mexico, falls on the literature. It is very broad but confusing to define conceptually sustainability versus

sustainable development; several authors agree on the differentiation of involving policies in the concept of sustainability, that is why in this investigation, it is considered then as that which should be part of the strategic planning or environmental management.

The methodological bases, starting from the approach of the visualized problematic and its functional design, promote a qualitative research, that allows the integration of universal principles, specific parameters (country normativity), to be able to describe with real details, the practices that are currently carried out, units selected by the nature of their operational characteristics. These bases are adapted to the case studies, adapting them to several units of analysis with a common objective and with a standardized but flexible fieldwork: multiple integrated.

The field work that was carried out is programmed to provide results for each unit of analysis, which will be based on criteria endorsed by experts in the mining sector, with the possibility of proposing improvements in their environmental practices, to minimizing or eradicating impacts, thought “best practices”.

Finally, this article aimed to show the validation of the model according to the bases that are considered appropriate for the triangulated interpretation, marked by the selected design, the assumptions made at the beginning of the investigation and the information extracted, and which was relevant to be able to build a sustainable model that considers only the best practices of each unit of analysis. The sustainable model aims to consider best practices from environmental management, in the hands of policies, to achieve real inclusion in efforts to remedy the environment and the achievement, as much as possible, of sustainable companies and communities.

REFERENCES

- [1] Subsecretaría de Minería. “Manual del Inversionista en el Sector Minero Mexicano”. Secretaría de Economía, December 2017.
- [2] Coordinación General de Minería. “Guía para conocer las etapas del proceso productivo para la pequeña Minería”. Secretaría de Economía, 2014.
- [3] J. Naredo. “Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible. En la construcción de la ciudad sostenible”. Ed. Ministerio de Obres Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1996.
- [4] UNEP. “Avances y Progresos científicos en nuestro cambiante medio ambiente”. Programa de naciones Unidas para el medio ambiente, pp. 80, 2010.
- [5] ONU. “Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”. Organización de las Naciones Unidas, 2010.
- [6] R. Martínez, P. Rivera. “Articulación de los objetivos de Desarrollo Sostenible y la Legislación Ambiental en la Industria Minera”. REMINEO, 2017.
- [7] Yin, R. “Validez y generalización en futuras evaluaciones de casos de estudio”. COSMOS corporation, 2013.
- [8] R. Hernandez. “La metodología de la investigación”. McGrawHill, 2014.
- [9] Yin, R. “Case study Research. Design and Methods”. SAGE, 1994.
- [10] R. Martínez, M. Bednarek. “Fundamentos para construcción de Instrumento Ambiental para la Industria Minero-metalúrgica”. Revista de Arquitectura y Diseño. ECORFAN, 2018.
- [11] L. Massolo. “Introducción a las herramientas de gestión ambiental”. Argentina: Universidad Nacional de la Plata, 2015.

Use of leachates from a mechanical biological municipal solid waste treatment plant as fertilizers

Jonathan Cardoso, Maria Vertonha, Juliana Mees, Jose Luis Díaz Tuesta, Paulo Brito, Helder T. Gomes

Jonathan Cardoso
Centro de Investigação de Montanha (CIMO)/Laboratory of Separation and Reaction Engineering – Laboratory of Catalysis and Materials (LSRE-LCM)
 Instituto Politécnico de Bragança/
 Universidade do Porto
 Bragança, Portugal
 jonathancardoso@ipb.pt

Maria T. Vertonha
Centro de Investigação de Montanha (CIMO)
 Instituto Politécnico de Bragança
 Bragança, Portugal
 mvertonha@gmail.com

Juliana B. Mees
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais
 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus de Medianeira
 Paraná, Brasil
 juliana@utfpr.edu.br

Jose Luis Díaz de Tuesta
Centro de Investigação de Montanha (CIMO)/Laboratory of Separation and Reaction Engineering – Laboratory of Catalysis and Materials (LSRE-LCM)
 Instituto Politécnico de Bragança/
 Universidade do Porto
 Bragança, Portugal
 jl.diazdetuesta@ipb.pt

Paulo Brito
Centro de Investigação de Montanha (CIMO)
 Instituto Politécnico de Bragança
 Bragança, Portugal
 paulo@ipb.pt

Helder T. Gomes
Centro de Investigação de Montanha (CIMO)/Laboratory of Separation and Reaction Engineering – Laboratory of Catalysis and Materials (LSRE-LCM)
 Instituto Politécnico de Bragança/
 Universidade do Porto
 Bragança, Portugal
 htgomes@ipb.pt

Abstract— Leachate liquid streams originated from treatment plants contain carbon, nitrogen, phosphorus, potassium and trace elements. The present work aims to assess if a leachate, generated from a composting line of a mechanical and biological treatment facility, can be used as a potential source for liquid fertilizers, and thus propose and design a sequence of processes which could effectively convert the leachates to commercial liquid fertilizers according to the requirements of the proposal of regulation of the European Parliament of 2016 [1], [2]. The analysis shows that the leachate exhibits potential to be converted in an organo-mineral fertilizer, since it exhibits high organic carbon content. However, some heavy metals and nitrogen and phosphorus nutrient contents do not fulfill the legislation requirements which implies a tuning of the liquid waste composition.

Keywords— Treatment plant, leachate, waste processes, fertilizers.

I. INTRODUCTION

Each year an increasing quantity of wastes is disposed in the nature, which not only causes economic and environmental problems for the society, but also represents a waste of resources. The generation of wastes in Europe has raised in 21 of the 31 Member States for municipal waste generated per capita since 1995. Specifically, in Portugal, the rate of wastes generation increased 34.7%. The variations reflect differences in consumption patterns and economic wealth, but also depend on how municipal waste is collected and managed [3]. The management of deposition of organic fractions of municipal solid waste on landfill, and new treatments and applications to the subsequent leachates must be developed. Several successful demonstrations of leachate application by irrigation of crops were reported in different parts around Europe [1], [4], [5].

Leachate is an obvious waste product without associated direct production costs. However, it usually implies a previous expensive treatment process before it can be discarded. The possibility of using leachates in agriculture applications also means that the costs at waste treatment plants can be reduced,

since the removal of nitrogen, phosphorus and other useful substances would not be necessary. Nevertheless, due to the nature of the leachates, they may contain, in addition to elements of interest, heavy metals, phytotoxic substances such as ammonia, organic compounds of low molecular weight and high salt content [6]–[8]. The aim of this work is the proposal and design of a sequence of processes to convert a specific leachate liquid stream with a highly variable composition, collected from the composting line of a mechanical and biological treatment facility, into commercial fertilizers which fit the composition requirements of the European Legislation. But, to effectively design these processes, it is necessary to assess the typical composition of the liquid leachate and to predict its possible variability, for the evaluation of the composition alteration needs. Therefore, in the present work the data gathered for the characterization of the leachate is presented and discussed, and a conversion sequence of processes is proposed.

II. MATERIALS AND METHODS

The samples were obtained from the leachate storage tank from a composting line of a mechanical and biological treatment plant of organic wastes at the company Resíduos do Nordeste, EIM (Mirandela, Portugal). The samples were collected in June 2018 and February 2019, and then were stored at 4°C in 5 L PET bottles. The concentration procedure was performed using simple distillation. The ratio between the initial and final volume is given as the concentration factor which is used for the identification of each sample. pH and conductivity were determined using a pH electrode SenTix 41 and a conductivity cell TetraCon 325.

TOC analysis was performed with 1:500 dilution, in a Shimadzu TOC-L equipment. Density assessment was done using Anton Paar DMA5000M densimeter at 20°C. Dry mass percentage was obtained using an oven from Scientific Series 9000 at 105°C for 48 h while Ash percentage was performed at 450°C until constant mass. Heavy metals quantification was performed by digesting the samples with HNO₃/HCl during 48 h at 6°C, filtrated using a 0.45 µm syringe filter in a 50 mL

volumetric flask and analysis by atomic absorption spectroscopy Varian SpectraAA 220.

Ammoniacal Nitrogen was characterized through distillation of the initial sample. Total Kjeldhal Nitrogen (TKN) analysis was performed using the same procedure with previous digestion with H_2SO_4 . Organic Nitrogen was calculated through the difference between Total and Ammoniacal Nitrogen. Phosphorous analysis was performed by digesting the sample with HNO_3 and $HClO_4$, and the absorbance measurements were carried out in a Jasco UV/VIS spectrophotometer at 400 nm, using vanadate molybdate solutions as colorants.

Nitrite was characterized using dilutions of the initial sample from 1:50 to 1:400 in a 50 mL volumetric flask. In each flask, 1 ml of sulfanilamide solution was added. The absorbance measurements were carried out in a Jasco UV/VIS spectrophotometer at 537 nm. Nitrate was characterized using dilutions of the initial sample from 1:50 to 1:400 in a 50 mL volumetric flask. In each flask, 1 ml of HCl 1 M was added. The absorbance measurements were carried out in a Jasco UV/VIS spectrophotometer at 220 nm and 275 nm to eliminate the organic matter effect. The final absorbance is obtained as following in Equation 1.

$$A_{Real} = A_{220} - (2 \times A_{275}) \quad (1)$$

The adsorbent materials were activated carbon samples produced from the compost material generated in the treatment plant and acid activated clays obtained in a partnership with a Kazakhstan institution.

The activated carbon samples were produced from the compost provided by Resíduos do Nordeste, EIM, which was washed with distilled water, dried for 12h at 110°C, powdered and sifted, for homogenization. Different amounts of the compost were mixed with 30 mL of distilled water to obtain different initial concentrations and heated to targeted temperature as presented in Table I. Then, the solids were separated by vacuum filtration (pore size 0.45 μm), washed and dried for 15h at 100°C [9].

TABLE I. COMPOSITION AND TREATMENTS USED FOR THE ACTIVATED CARBON PRODUCED FROM THE COMPOST.

Sample	Reaction time (h)	Compost mass (g)	Reaction temperature (°C)
AC 10	4	3.00908	230
AC 11	2	3.00037	230
AC 12	2	2.00591	150

The natural clays, obtained from 4 different locations at Kazakhstan and identified as ASA, KAA, AKA and KOA, were purified with a mixture of sodium acetate and acetic acid. Acid activated clays samples were prepared by adding 3 g of the natural clay into a 250 mL three necked round bottom flask, and 150 mL of 4 M solution of H_2SO_4 . The resulting suspension was stirred at 80°C during 3 h. The supernatant was discharged, and the activated clay was repeatedly washed until neutral pH. The activated clay was recovered and then dried in air static oven at 60°C overnight [10].

10mL of the leachate for the activated carbon and 20mL for the clays are mixed with 0.1g or 0.2g of each one of the solid adsorbent's samples for 48 hours at room temperature, centrifuged at 9000rpm and the supernatant is reserved at 4°C. The samples were characterized using TOC analysis,

performed with 1:500 dilution, in a Shimadzu TOC-L equipment. Heavy metals quantification was performed by digesting the samples with HNO_3/HCl during 48 h at 60°C, then filtrated using a 0.45 μm syringe filter in a 50 mL volumetric flask, completed with a 5% HNO_3 solution, and afterwards analyzed by atomic absorption spectroscopy using a Varian SpectraAA 220 apparatus.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Chemical properties of original and concentrated leachates are summarized in Table II for samples collected in June 2018 and February 2019, respectively, from the compost leachate storage facility.

TABLE II. CHEMICAL PROPERTIES OF ORIGINAL AND CONCENTRATED LEACHATES.

Samples	% TOC	pH	Density [g/cm ³]	Dry Mass [%w/w]	Ash [%w/w]	
EU 2016	3.00	-	-	<60	-	
Jun 2018	Original	1.22	7.95	1.01	2.76	1.36
	3.19x	3.64	6.43	1.04	8.26	4.31
	3.23x	3.63	6.44	1.04	8.21	4.23
	3.33x	3.46	6.40	1.04	8.58	4.39
	4.23x	4.65	6.48	1.06	11.19	5.64
	4.39x	4.63	6.49	1.06	11.26	5.81
Feb 2019	Original	2.81	7.53	1.03	6.49	3.07
	Original Filtered	2.79	7.81	1.03	6.02	2.96
	1.19x	3.27	7.98	1.04	7.03	2.93
	1.85x	5.36	6.55	1.06	11.43	5.59

The original leachate obtained at February 2019 showed a TOC concentration 2 times greater than the leachate samples collected at June 2018, which makes apparent the high heterogeneity of the leachate produced. Both original leachate samples must be concentrated to satisfy the requirements of the EU fertilizers legislation in order to reach 3% of TOC for liquid organo-mineral fertilizers [1], [2], [7], [8].

pH and density shown low variation between the original and the concentrated samples, remaining neutral with water removal. The original sample showed a higher content of dry mass and ashes compared to the original sample from June 2018. However, it is visible that the original sample from February 2019 needs less water removal to reach the target specifications.

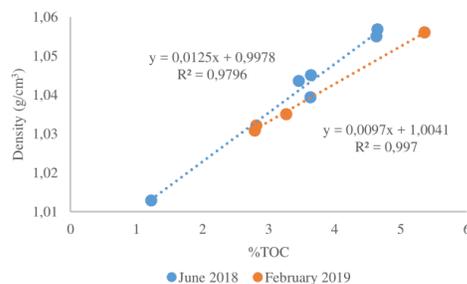


Fig. 1. Correlation between Density and TOC.

It is detected that the organic carbon content has a strong influence on the final density of the concentrate obtained.

Thus, some statistical analysis can now be applied to verify the possible correlation between bulk density and TOC for samples from June 2018 and February 2019, as shown in Fig. 1, which presents how density is affected by the TOC in each sample.

A significance test using Pearson's correlation coefficient was carried out. A Pearson correlation coefficient $r = 0.99$ was obtained for both samples. Thus, it can be stated that the correlation between density and TOC values is statistically significant for a 99% confidence interval.

Heavy metals content was determined for all samples in order to verify the fulfillment of the EU legislation for organo-mineral liquid fertilizers. The results are presented in Table III.

TABLE III. HEAVY METALS CONTENT OF ORIGINAL AND CONCENTRATED LEACHATES .

Samples	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	
EU 2016	1500	600	3	120	50	2	
Jun 2018	3.19x	-	4.69	8.71	133.71	15.16	
	3.23x	-	1.84	8.73	153.26	11.48	
	3.33x	-	1.01	2.17	89.62	10.76	
	4.23x	-	4.79	12.13	134.92	15.58	
	4.39x	-	2.98	8.73	111.00	11.21	
Feb 2019	Original	468.60	101.60	0.37	4.76	116.33	10.74
	Original Filtered	252.78	241.15	0.91	4.11	148.93	9.83
	1.19x	1077.56	56.07	0.69	15.77	155.51	11.08
	1.85x	1299.82	11.27	0.41	11.10	62.81	10.47

For the heavy metals analysis is evident that the more suitable leachate for this application is the collected in February 2019, it shows a higher concentration of TOC with lower heavy metals content. The concentration of each heavy metal is highly variable mainly due to the significant heterogeneity of the leachate samples and the visible differences in the compositions of its liquid and solid fractions. However, it is noticeable that the content of Zn, Cu, Cd and Pb fulfill the requirements of the EU legislation in concentrated samples, while Ni and Cr must be removed to achieve EU requirements.

The characterization of nitrogen and phosphorous (NP) species was carried out to obtain the parameters for the leachate as shown in Table IV.

TABLE IV. NP CONTENT.

Sample	TKN (%w/w)	Organic N (%w/w)	P ₂ O ₅ (%w/w)
EU 2016	2	0.5	2
Jun 2018	0.0588	0.0453	<0.02
Feb 2019	0.3391	0.2617	<0.02

The original leachate obtained at February 2019 showed a nitrogen concentration 20 times greater than the leachate obtained in June 2018. The values obtained for total phosphorus are below the detection limit for the analysis even in more concentrated samples. According to European Union legislation, a liquid organo-mineral fertilizer must contain at least one of the following declared nutrients in the minimum quantities: 2%w/w of total N, of which 0.5%w/w must be organic nitrogen; 2%w/w of total P₂O₅; and 2%w/w of total K₂O. Therefore, the nitrogen and phosphorous values do not fit the requirements in the legislation; it is necessary to carry

out the potassium analyses to verify possible conformances in at least one of the required nutrients.

The nitrite and nitrate content in the original filtered leachate are presented in Table V.

TABLE V. NITRITE AND NITRATE CONTENT.

Sample	Nitrite (mg/L)	Nitrate (mg/L)
Feb 2019	33.46	150.86

The nitrite and nitrate content are not a legislation demand. However, in comparison, this value is lower than the maximum requirements for other fertilizers.

From the analysis of original and concentrated leachate samples, a simplified flowsheet for a sequence of composition adjustments for the leachate can now be proposed, as presented in Fig. 2.

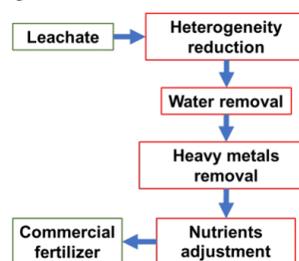


Fig. 2. Proposed simplified flowsheet for a conversion process of the leachate to commercial fertilizers.

This flowsheet represents a proposal for the main general operations that the leachate must pass through to reach the minimum legislation requirements for commercial fertilizers. The specific processes for each conversion step must be selected and designed, considering the predictable composition of the liquid leachate and its possible variation.

Tests using solid adsorbents such as activated carbon produced from the compost and acid activated clays are proposed to reduce the heavy metals content with minimum impact in the organic carbon concentration in the Original Filtered samples. Solid adsorbents are more suitable for an easier separation process.

Each treated leachate sample is identified by the adsorption solid used. For the activated carbon (AC) the treated leachate is coded by the name of the solid (10, 11 or 12), while for the activated clays the treated leachate is identified by the name of the solid from the four different regions of Kazakhstan: Akzhar (AKA), Asa (ASA), Karatau (KAA) and Kokshetau (KOA). Additionally, each test is also identified by the mass of adsorbent added to each leachate, 0.1 (0.1 g) or 0.2 (0.2 g). Total Organic Carbon (TOC) and heavy metals content of treated leachates are presented in Fig. 3, 4 and 5 for samples collected in February 2019 from the compost leachate storage facility according to the classification adopted following the legislation for organo-mineral fertilizers presented by the European Parliament [1], [2].

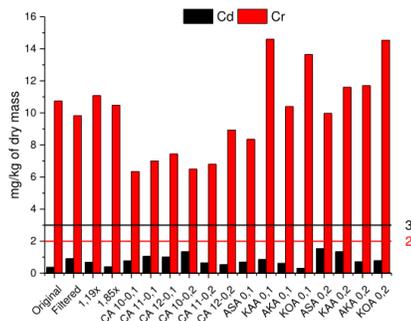


Fig. 3. Cd and Cr content.

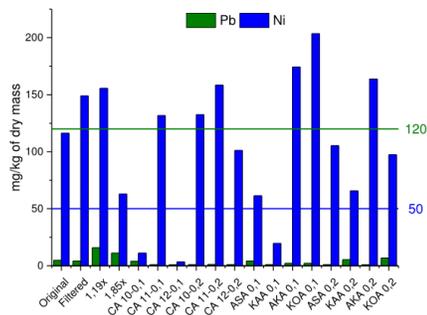


Fig. 4. Pb and Ni content.

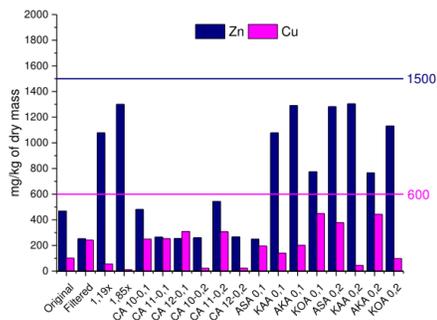


Fig. 5. Zn and Cu content.

The original leachate obtained at February 2019 presents an organic carbon content lower than the requirements of the EU fertilizers legislation (3% of TOC) for liquid organo-mineral fertilizers

The adsorption processes were tested using the filtered leachate samples in order to remove the effect of the suspended solids and ensure a better separation between phases after the adsorption process.

The adsorption materials showed interactions with the organic carbon present in the leachate, which promoted noticeable and undesirable removal of this carbon material from the liquid phase. The activated carbon promoted greater TOC removal in comparison with the activated clays, which could affect the heavy metals removal since it is possible that the organic carbon would occupy the adsorption centers blocking the suppression of heavy metals. The adsorption materials exhibited interaction with the heavy metals present in the leachates, with the leachate heterogeneity affecting greatly the results. Nevertheless Zn, Cu, Cd and Pb contents always satisfy the requirements. On the other hand, Ni and Cr still present higher content than the minimum allowed in the legislation. The samples treated with activated carbons produced from compost show lower heavy metals content.

IV. CONCLUSION

The concentrated leachate is not suitable, at this point, to be used as a commercial fertilizer, because it does not fit the totality of the legislation requirements. However, this processed waste leachate samples still display potential to be used for this type of applications, since it exhibits high concentrations of total organic carbon (TOC). Heavy metals content must be tubed, possibly resorting to adsorption materials. Nutrients like nitrogen and phosphorous are present in low levels even after the concentration procedure. Therefore, ultrafiltration or reverse osmosis processes are possible viable solutions to remove the excess of water without affecting significantly the content of the product in desirable compounds, especially nutrients and organic carbon. Potassium determination remains to be carried out and if it fits the legislation specification. However, the potential use of these leachate wastes as fertilizers is substantial, especially because it encourages the use of liquid wastes with high organic carbon content for agricultural applications with the possibility of producing a high value-added material.

Overall the activated carbons produced from the compost showed better results in heavy metals removal. However, while the adsorption materials promoted a reduction in the heavy metals content in most cases, this reduction also affected the organic carbon content, which is not an intended effect since it affects negatively the fulfillment of the TOC requirements. Nevertheless, ion-exchange resins will be now tested for a more efficient heavy metals removal in order to minimize possible secondary elimination of useful components such as organic carbon or nutrients.

ACKNOWLEDGMENT

This work was financially supported by: Project VALORCOMP, funded by FEDER through Programme INTERREG V-A Spain-Portugal (POCTEP) 2014-2020 and Associate Laboratory LSRE-LCM-UID/EQU/50020/2019-funded by national funds through FCT/MCTES (PIDDAC).

REFERENCES

- [1] European Comission, *European Parliament and European Council Proposal for the Regulation of fertilizers products with the CE marking and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009*. 2016.
- [2] European Comission, "Regulation of fertilizers products with the CE marking and amending 2016/0084.", 2019.
- [3] Eurostat, "Eurostat - Municipal waste statistics," no. July 2018, pp. 1-7, 2018.
- [4] K. Hyde, A. Smith, M. Smith, and S. Henningsson, "The challenge of waste minimisation in the food and drink industry: a

- demonstration project in East Anglia, UK," *J. Clean. Prod.*, vol. 9, pp. 57–64, 2001.
- [5] S. Henningsson, K. Hyde, A. Smith, and M. Campbell, "The value of resource efficiency in the food industry : a waste minimisation project in East Anglia, UK," *J. Clean. Prod.*, vol. 12, pp. 505–512, 2004.
- [6] T. Zhang, L. Ding, and H. Ren, "Pretreatment of ammonium removal from landfill leachate by chemical precipitation," vol. 166, pp. 911–915, 2009.
- [7] Ministério da Economia de Portugal, *Ministério da economia - Decreto-Lei n.º 103/2015*. 2015, pp. 3756–3788.
- [8] J. Cardoso, H. Gomes, and P. Brito, "Viability of the Use of Leachates from a Mechanical Biological Municipal Solid Waste Treatment Plant as Fertilizers," *Recycling*, vol. 4, no. 1, p. 8, 2019.
- [9] F. F. Roman, J. L. D. De Tuesta, P. Praça, A. M. T. Silva, J. L. Faria, and H. T. Gomes, "Production of low-cost hydrochars by hydrothermal carbonization of compost: kinetic modeling and treatment of the generated liquid effluent by Fenton," accepted for publication in 5th International Conference WASTES: Solutions, Treatments and Opportunities, Lisbon, Portugal, pp. 6–8, 2019.
- [10] A. S. Silva, "Treatment of wastewater containing pharmaceutical compounds by catalytic wet peroxide oxidation using clay-based materials as catalysts," MSc. Thesis, Polytechnic Institute of Bragança, 2019.

Valorization of acidic waste oils through conversion to biodiesel catalysed by an acidic ionic liquid

Baú, A.C., Ribeiro, A.E., Queiroz, A.M., Brito, P.

Baú, A.C., Ribeiro, A.E., Queiroz, A.M.
Centro de Investigação de Montanha (CIMO)

Instituto Politécnico de Bragança
Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança,
Portugal

Bruto, P.
Centro de Investigação de Montanha (CIMO)

Instituto Politécnico de Bragança
Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança,
Portugal

paulo@ipb.pt

Abstract—Biodiesel is an alternative diesel fuel which is industrially produced from vegetable oils and animal fats. Currently most commercial biodiesel is produced from oils, using alkaline catalysts. However, conventional mineral acid catalysts like sulfuric acid, are commonly used to catalyze esterification reactions of fatty acids which also produce biodiesel. Ionic Liquids (ILs) offer an alternative solution to classical homogeneous catalysts, because it can be recycled and reused in subsequent runs after a few recovery steps. In this study, a Brønsted acidic IL, 1-butyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate ([BMIM]HSO₄) was used as a catalyst in the conversion of a simulated acidic waste oil, based in mixtures of a waste cooking oil and oleic acid, into biodiesel by esterification/ transesterification reactions. The kinetic studies showed that the esterification reaction can be modeled as a third order reaction with an activation energy of 52.2 kJ/mol, and was significantly influenced by the temperature and molar ratio of oil/alcohol. The methodology proposed for recovery of the IL is adequate because it has the capacity to recover the IL with high purity. After five reaction/recovery cycles, the conversion efficiency falls from 93.4% to 86.9% and the FAME content decreases from 18.4%wt to 11.5%wt. The IL [BMIM]HSO₄ was not able to promote the transesterification reaction of the simulated oil but presented promising results for the esterification reaction and for a treatment of oils with high acidity.

Keywords— *biodiesel, esterification, ionic liquids*

VI. INTRODUCTION

A. Biodiesel

Biodiesel is a biodegradable, renewable, non-toxic, sulfur-free, and environmentally clean alternative diesel fuel, which is composed by fatty acid alkyl esters, produced from renewable resources, such as vegetable oils, animal fats, and waste restaurant greases. One of the

attractive characteristics of biodiesel is that its use does not require any significant modifications to diesel engines [1]. Comparing to diesel fuels, biodiesel fuels show advantages in terms of sulfur content, flash point, aromatic content and biodegradability. Biodiesel contributes also with lower emissions than petroleum diesel, and does not add to a rise of the net concentration of carbon dioxide in the atmosphere, leading to a decreasing in greenhouse effects intensity in global climate [2].

Biodiesel is usually produced by a transesterification reaction, by which the triglycerides present in the fat materials react with alcohols, in the presence of a catalyst, to produce fatty acid alkyl esters. Glycerol is produced as a byproduct of this transesterification process. The most common alcohol used in biodiesel production is methanol (MeOH). So, biodiesel is typically constituted by a mix of fatty acid methyl esters (FAME) [3].

However for highly acidic vegetable oils, namely waste vegetable oils (WVOs), it is required to treat the raw materials in order to diminish its excessive acidity, which may introduce severe operational problems in the downstream processes. Thus, a previous esterification step of the free fatty acids (FFA) present in the oils is required, which is usually catalyzed by conventional mineral acids, such as sulfuric acid. An esterification reaction occurs when a carboxylic acid (the fatty acid) reacts with an alcohol (usually methanol) to produce an ester (biodiesel) and water.

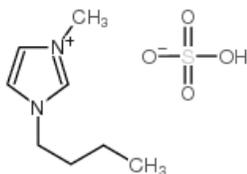
B. Ionic Liquids

Ionic liquids (ILs) are defined as liquid state molten salts at low temperatures (below 100°C), which are

composed of organic cations and either organic or inorganic anions, and are used as solvents/catalyst for several reactions [4]. It is important to emphasize that while these compounds may actually be solid at room temperature, they are typically referred to as liquids because they have a melting point below 100°C [5].

ILs exhibit general properties such as: very low relative volatility (i.e., close to zero), wide liquid temperature range and significantly less toxicity compared to organic solvents. Additionally, they can be colorless, non-flammable, and show high catalytic activity, low viscosity, potential recyclability, being easily manipulated and environmentally friendly. Furthermore, they can be made miscible or immiscible with organic solvents and water. ILs are generally regarded as green solvents, receiving worldwide attention in several application fields including catalysis, electrochemistry, separation, and inorganic nanomaterials [6]. Besides the use as solvents, ILs can also be used as sole catalysts in biodiesel production processes [7-8], either by esterification or transesterification paths. For these applications, Brønsted acidic ILs reveal to be highly efficient catalysts. Imidazolium based ILs, due to its inherent ionic patterns, low pressure and ability of self-organization in different states, are the most studied IL species. This type of ILs have been progressively used as green solvents to replace the volatile and relatively toxic organic solvents, in homogeneous and heterogeneous catalysis, materials science, nanomaterials, lithium ion batteries, and separation technology [9-11].

Hence, the main objective of this study was the production of biodiesel through the reactions of esterification /transesterification of a simulated oil, based in mixtures of a waste cooking oil and oleic acid (OA), catalyzed by the ionic liquid 1-butyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate, [BMIM]HSO₄, whose chemical structure is presented in Fig. 1.



Brønsted acidic IL, 1-butyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate, [BMIM]HSO₄, chemical structure.

VII. MATERIALS AND METHODS

A. Materials

The feedstocks used were a waste cooking oil sample, collected in restaurants from the region of Bragança, Portugal, oleic acid (OA), tech 90%, obtained from ThermoFisher. IL 1-butyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate was obtained from Sigma Aldrich. Other materials

used were n-heptane (99%), anhydrous absolute ethanol and sodium sulfate anhydrous (Carlo Erba), diethyl ether, methanol, potassium hydroxide, borax and methyl red indicator (Riedel-de-Haën), concentrated sulfuric acid and boron trifluoride-methanol (Sigma Aldrich), and hydrochloric acid (37%) (Fisher Chemical). The 37 FAME mixture was purchased from Sigma Aldrich and the standard methyl heptadecanoate (97%) was purchased from Tokyo Chemical. The phenolphthalein indicator (99%) was obtained from Panreac. All materials were used without further purification.

B. Characterization of the Feedstocks

To a 20 mL volumetric flask, 25 mg of the biodiesel sample and 2.5 mL of methanolic KOH solution (0.5 mol/L) were added. Then, the flask was closed and submitted to a drying process in an oven at 90 °C for 10 min. After this time, it was removed from the oven and allowed to cool to room temperature, and 2 mL of BF₃ in methanol solution (10%, v/v) was added. The flask was again closed and placed in the oven at 90 °C for more 30 min, then was removed from the oven and allowed to cool to room temperature. Latter, 3 mL of methyl heptadecanoate solution was added and the solution was agitated using a vortex apparatus. Saturated sodium chloride, NaCl, solution (2 mL) was added and the solution was again subjected to the same homogenization procedure. The sample was centrifuged for 5 min at 3000 rpm for total separation of the two phases. After centrifugation, 2 mL of the upper phase was withdrawn and added to a 4 mL flask. Anhydrous sodium sulfate was added in sufficient quantity to remove all moisture present. Gas chromatography analysis was then performed for fatty acids characterization present in the sample.

C. Reactions

Ionic liquid, oleic acid, waste cooking oil and methanol were added, using this order and in different previously defined proportions, to a 100 mL reaction vessel. Then, the reaction vessel was immersed in a paraffin bath, coupled to a reflux condenser and placed over an automatic heating plate with agitation and automatic temperature control. An extra thermometer was used to confirm the temperature inside the reaction vessel. When the predetermined reaction time was reached, the vessel was removed from the bath and immersed in cold water to stop the reaction. The mixture was transferred to centrifuge tubes and then stored in a refrigerator (4 °C) for a period of 60 h, then subjected to 20 min centrifugation (3000 rpm). Using this procedure, the final product of the reaction reached a level of complete separation of phases which could now be completely splitted. Both phases (organic and aqueous) were stored in flasks and kept in a fridge for further analysis.

The kinetic study assays were carried out with a similar procedure. Throughout the reaction and at predetermined times (0, 15, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300, 360, 420 and 480 min), 1 mL of sample was removed from the reaction vessel using a micropipette and stored in a 2 mL vial. After cooling, the acidity decrease was measured to determine the conversion.

D. Reaction Yield

The standard method to measure the acid value of biodiesel is a volumetric titration (acidity is expressed in mg KOH/g oil) using standard solution of KOH with concentration of 0.1 mol/L (EN 14104:2008 [12]). A solution of 1:1 diethyl ether/ethanol (v/v) was used as the solvent for volumetric titration, and phenolphthalein was used as the indicator.

The acid value (AV) of biodiesel was calculated by:

$$AV = \frac{V \times C_{KOH} \times M_W}{m_{biodiesel}} \quad (1)$$

where,

V – Volume of KOH standard solution needed to titrate biodiesel sample (mL);

C_{KOH} – concentration of potassium hydroxide (KOH) standard solution (mol/L);

M_W – molecular weight of KOH (56.1 g/mol);

$m_{biodiesel}$ – mass of biodiesel sample (g).

The biodiesel conversion was estimated using the equation:

$$\text{Production Yield, } Y(\%) = \frac{AV_i - AV_f}{AV_i} \times 100 \quad (2)$$

$$\alpha + \beta = \chi. \quad (1)$$

where,

AV_i – acidity of oleic acid (initial) (mg_{KOH}/g_{oleic acid});

AV_f – acidity of sample (after reaction) (mg_{KOH}/g_{biodiesel}).

E. Gas Chromatography

Gas Chromatography with a Flame Ionization Detector (GC-FID) was used to measure the FAME content in biodiesel samples, in compliance with the European Standard EN14103/2003 [13]. All analyses were carried out on a Varian 3800 GC equipment, equipped with a Supelcowax 10 column (30m×0.25mm×0.25μm). The GC analysis was carried out using the following operating conditions: helium flow-rate of 1 mL/min, initial oven temperature of 50 °C maintained for 1 min, then a temperature ramp from 25 °C/min to 200 °C, and then a

second ramp temperature at 3 °C/min until 230 °C. The final temperature was maintained for 23 min, for a total running time of 40 min. The injector was operated with a temperature of 250 °C and a split ratio of 1:25. The detector temperature was 250 °C.

The identification of each FAME was done by comparing the retention times of the Supelco 37 FAME compound mix analysis obtained in the GC Shimadzu system with the retention times in two other analysis of FAMEs mixtures published by two different manufacturers. The first one is a 16 FAME mix analysis published by Macherey-Nagel using the same column OPTIMA BioDiesel Fand, and the second one is a 37 FAME compound mix analysis published by Supelco [14] using a DB-Wax column. After identification of all 37 compounds, the individual and the total chromatographic areas of FAMEs were used to quantify the FAME content present in biodiesel using equation (3), according to EN14104 [12].

$$C(\%) = \frac{(\sum A_{FAME} - A_{IS})}{A_{IS}} \cdot \frac{m_{IS}}{m_{biodiesel}} \quad (3)$$

where $\sum A_{FAME}$ is the sum of the areas of all FAMEs (from C4:0 to C22:0), A_{IS} is the area of the internal standard (heptadecanoate methyl ester), m_{IS} is the mass of the internal standard and $m_{biodiesel}$ is the mass of the biodiesel sample.

Similarly, the contribution of each FAME compound to the total FAMEs content was calculated using equation:

$$C_n(\%) = \frac{A_{FAME(n)}}{A_{IS}} \cdot \frac{m_{IS}}{m_{biodiesel}} \quad (4)$$

where $C_n(\%)$, is the contribution, in percentage, of FAME n in the sample, expressed in mass fraction and $A_{FAME(n)}$ is the area of the compound n . Solely the methyl esters which showed a contribution to the total content higher than 1% were considered.

F. Ionic Liquid Recovery

The vials of the aqueous phase were submitted to a drying process using an oven at 110 °C for 5 h. The dried samples were washed with distilled water (1:3 wt/wt ratio) and the same drying procedure was repeated. At the end of this procedure all samples were analyzed by FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) to measure the correlation with the pure sample of [BMIM]HSO₄ and the effectiveness of the procedure.

G. FTIR Analysis

The spectra were emitted between the wavenumber of 400 to 4500 cm⁻¹ in a resolution of 4 cm⁻¹ and 4 cumulative scans, using a PerkinElmer FT-IR, model Spectrum Two, spectrometry equipment.

VIII. RESULTS

A. Characterization of the Feedstocks

The waste cooking oil (WCO) and oleic acid 90% (OA) were characterized by determination of the acid value (AV) and identification of the fatty acid profile followed by verification of the composition. The acidity value found for the studied WCO sample was 4.78 mg_{KOH}/g_{oil} and for the OA sample, the acid value determined was 177.04 mg_{KOH}/g_{OA}.

The fatty acid profile in both samples of the feedstock was identified through the derivatization of the Fatty Acid Methyl Esters by BF₃, followed by GC analysis. This analysis was performed in duplicate. Tables I and II present the qualitative and quantitative characterization of each FAME in relation to the waste cooking oil and the OA, respectively.

CHARACTERIZATION OF FAME IN WASTE COOKING OIL.

Peak name	Peak ID	Content (%)
Myristoleic acid methyl ester	C14:1	1.0
Pentadecanoic acid methyl ester	C15:0	0.7
cis-10-Pentadecanoic acid methyl ester	C15:1	0.6
Palmitic acid methyl ester	C16:0	8.0
Stearic acid methyl ester	C18:0	2.6
Oleic acid methyl ester, Elaidic acid methyl ester	C18:1 (c+t)	29.3
Linoleic acid methyl ester, Linolelaidic acid methyl ester	C18:2 (c+t)	34.2
gamma-Linolenic acid methyl ester	C18:3n6	0.3
Linolenic acid methyl ester	C18:3n3	2.1
TOTAL		78.7

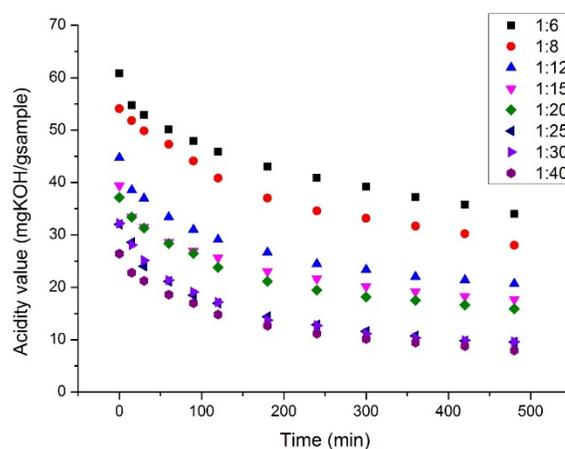
CHARACTERIZATION OF FAME IN OA.

Peak name	Peak ID	Content (%)
Palmitic acid methyl ester	C16:0	1.7
Stearic acid methyl ester	C18:0	2.9
Oleic acid methyl ester, Elaidic acid methyl ester	C18:1(c+t)	87.3
Linoleic acid methyl ester, Linolelaidic acid methyl ester	C18:2(c+t)	4.5
TOTAL		96.4

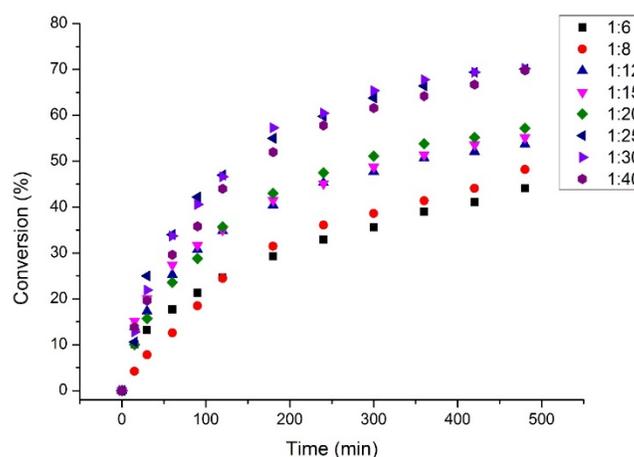
B. Kinetic Study

The kinetic study was performed for different oil:methanol molar ratios (1:6; 1:8; 1:12; 1:15; 1:20; 1:25; 1:30 and 1:40), using a catalyst load of 10 %wt, 20% incorporation of OA acid and a reaction temperature of 65 °C. In a second experimental step, the determination of the activation energy for the reaction was conducted for different temperatures (50; 55; 60 and 65 °C) using the most promising molar ratio of oil/MeOH.

Figs. 2 and 3 exhibit the results for the acidity value and consequent conversion throughout the reaction for all tests. It is evident that by increasing the molar ratio of oil/alcohol added to the reaction, the acid value decreases and the conversion increases. For a reaction time of 8 h the conversion reaches a limit of 70% with a ratio of 1:25 oil/MeOH, repeating this result for the ratios of 1:30 and 1:40.



Reduction of acidity value for different molar ratios oil/MeOH.



Conversion for different molar ratios oil/MeOH.

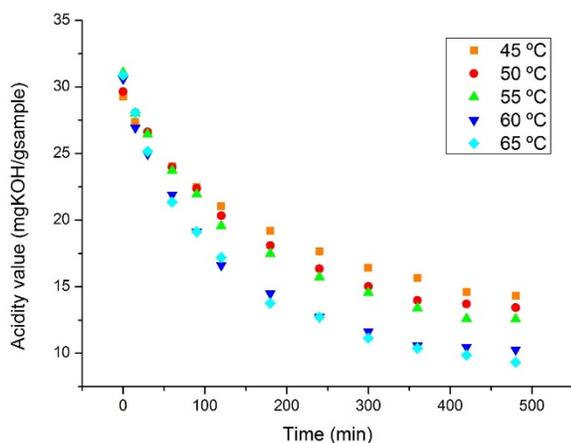
In order to determine the order of reaction in relation to OA, the Integral Method was used, applied to 0th, 1st, 2nd and 3rd order kinetic models, for all oil/methanol molar

ratio tests implemented. The data were then plotted for each order of reaction, and the coefficient of determination (R^2) was used to determine the apparent order of the reaction. The highest coefficient of determination in all cases corresponded to the third order reaction in relation to the OA reactant.

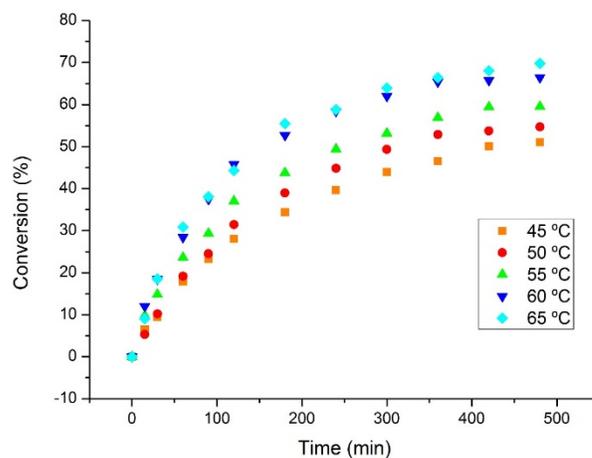
Therefore, assuming a third order esterification reaction of oleic acid, it was possible to estimate the activation energy of this reaction. For this reason, the molar ratio oil/MeOH of 1:30 was chosen, since a conversion of 70% was obtained after 8 h of reaction was obtained in these conditions. The reaction tests were carried out with a temperature variation (45, 50, 55, 60, 65 °C), setting all other operational conditions and using the procedure described above.

In these tests, acidity reduction and conversion plots were also obtained (see Figs 4 and 5). It is easy to notice that with the increase in temperature, the acidity values assume lower values while the conversion reaches higher values.

For a reaction time of 8 h, a conversion of 51% was achieved at a temperature of 45 °C, while 55% conversion was reached for a temperature of 50 °C. At a temperature of 55 °C it was obtained 60% conversion, and 66% conversion was attained for a temperature of 60 °C. Finally, a 70% conversion was reached for the temperature of 65 °C.



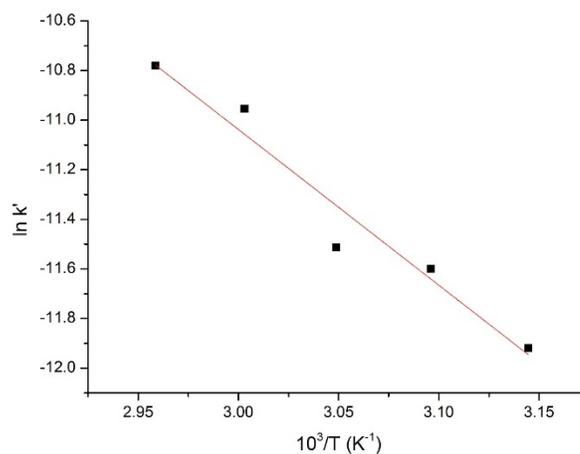
Reduction of acidity value for all temperature conditions.



Conversion for all temperature conditions.

Now, it is possible to estimate the value of the kinetic constant for each temperature assuming a third order esterification reaction. Through the application of the Arrhenius equation, the plotting of the inverse of the temperature in K and the natural logarithm of the kinetic constant at each temperature, made possible the estimation of the activation energy for the reaction. Hence, the Arrhenius plot is shown in Fig. 6.

A determination coefficient of $R^2 = 0.9536$ was obtained. The pre-exponential factor (k_0) was estimated at $2.46 \times 10^3 \text{ L}^2 \cdot \text{mol}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and the activation energy (E_a) as 52.2 kJ/mol. This considerable activation energy indicates a dependence on temperature, being highly influenced by it.



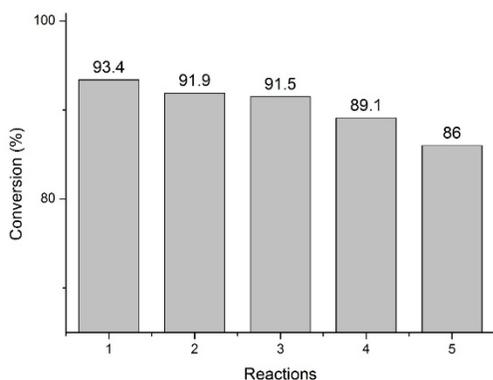
Arrhenius plot for the experimental data.

C. Recovery of Ionic Liquid

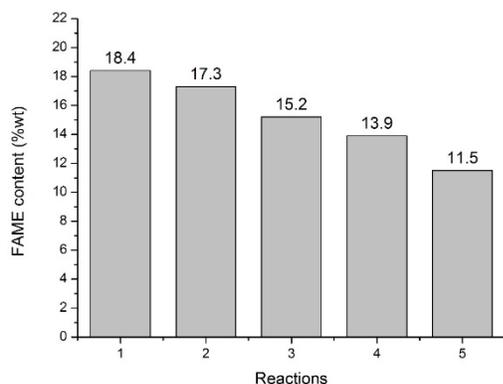
The recovery of the ionic liquid was studied by measuring the number of times that the catalyst could be re-used without a significant decrease in its catalytic activity. The experimental conditions consisted of 40% incorporation of OA, an oil/MeOH molar ratio of 1:20, a reaction temperature of 65 °C and reaction time of 4 h. The ionic liquid was recovered and then submitted to new

reactions of biodiesel production with the same referred experimental reaction conditions to access its catalytic capacity. For this determination, the responses analyzed were the conversion estimated by the decrease in acidity and the increase in content of FAMES.

It is necessary to point out that for each of the tests performed the mass of catalyst used at the beginning of the reaction corresponded to approximately 10%wt. of the feedstock used, being indispensable to consider the gradual reduction of the mass of the simulated oil used in each reaction cycle. Acidity reduction analysis for conversion estimation and FAME content were performed on the biodiesel produced in each of the five reactions. The results are shown in Figs 7 and 8.



Conversion variation during the IL recovery cycles.



FAME content variation during the IL recovery cycles.

It is possible to observe that in the first three cycles the conversion decreased smoothly. However it is also noticeable the occurrence of more abrupt decreases for the 4th and 5th cycle. When compared to the first cycle, the following cycles show decreases of 1.5%; 2.0%; 4.6% and 7.9%, respectively.

In the same way as the conversion calculated through the reduction of acidity, the FAME content in each of the tests has decreased, and the largest reduction was observed

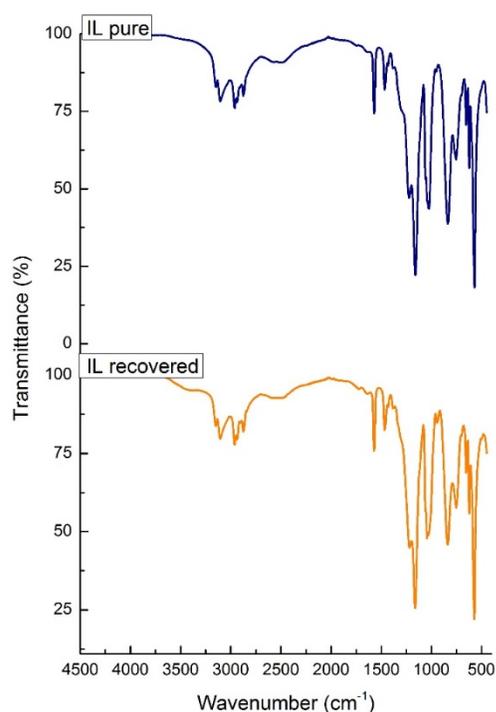
in the last one. When compared to the first cycle, the others had a decrease of 6.0%; 17.4%; 24.4% and 37.5%, respectively, which is a noticeable progression. This large decrease in FAME content is, also, due to the fact that at each cycle the mass of the feedstock used was reduced, relative to the mass of catalyst lost, thus having a constant catalyst dosage of 10 %wt.

After the fifth cycle, the recovered ionic liquid was subjected to FT-IR analysis to determine its purity and correlation with a sample of the ionic liquid not yet used. A 96.8% correlation was obtained between the samples, and it is possible to verify that after five reactions of biodiesel production the [BMIM]HSO₄ still has high purity. Fig. 9 shows the spectra with the unused IL and the recovered IL after the fifth reaction cycle.

IX. CONCLUSIONS

The objective of this study was the production of biodiesel through the reaction of esterification/transesterification of a simulated oil, based in mixtures of WCO and OA, catalyzed by the ionic liquid 1-butyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate, [BMIM]HSO₄.

It is known that the reuse of WCO for the production of biodiesel has the potential to reduce the cost associated with the product, which makes it competitive with the petrochemical market. The characterization of the oil used in this study showed that it is similar to a sunflower oil, mainly composed of 43.4% of C18:2 (linoleic acid methyl ester), 37.2% of C18:1 (oleic acid methyl ester), 10% of C16:0 (palmitic acid methyl ester), 2.7% of C18:3n3 (linolenic acid methyl ester) and 1% of C18:0 (stearic acid methyl ester), in a weight basis.



Comparison of spectra for the unused IL and the recovered IL.

The IL showed promising results for the production of biodiesel by the esterification reaction of the incorporated oleic acid, but it was not able to induce the transesterification reaction of triglycerides. Therefore, it is a valid alternative for the treatment of waste oils, by reducing their level of acidity and adding value to this product. The kinetic study allowed to evaluate the influence of the molar ratio of oil on the esterification reaction, showing that above a ratio of 1:25 the conversion remains unchanged for a period of 8 h. For molar ratios of 1:25; 1:30 and 1:40, 70% conversion was reached for the pre-determined time in all the experiments.

Then, it was possible to measure the activation energy of the esterification reaction catalyzed by IL 1-butyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate by changing the reaction temperature, reaching a value of 52.2 kJ/mol. This activation energy value means that the reaction is influenced by the temperature, which reinforces the fact that the maximum conversion is reached for a reaction time of 8 h and decrease as the temperature decreased, obtaining a maximum value of 70% for the temperature of 65 °C and 51% for 45 °C .

The proposed methodology for the recovery of the ionic liquid was efficient, being feasible until five consecutive cycles of reuse, leading to a decrease in conversion from 93.4 % to 86.9 % and the content of FAMES initially measured in 18.4 %wt decreased to 11.5 %wt.

[BMIM]HSO₄, was not able to promote the transesterification reaction, but presented excellent results as a catalyst for the esterification reaction. Its use can be applied as a preliminary treatment for non-edible commercial oils with high FFA content, that is, acid oils. The preliminary treatment may increase the cost of biodiesel production, but recovery of ionic liquid is an advantage to reduce process costs.

REFERENCES

- M.E. Tat., and J.H. Van Gerpen, "Physical properties and composition detection of biodiesel-diesel fuel blends," The Society for engineering in agricultural, food and biological systems, An ASAE Meeting Presentation, pp. 2-11, 2002.
- A.C. Ahmia, F. Danane, R. Bessah, and I. Boumesbah, "Raw material for biodiesel production. Valorization of used edible oil," *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 17, pp. 335-343, 2014.
- S.K. Hoekman, A. Broch, C. Robbins, E. Cenicerros, and M. Natarajan, "Review of biodiesel composition, properties, and specifications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 143-169, 2012.
- F. Guo, Z. Fang, X. Tian, Y. Long, and L. Jiang, "One-step production of biodiesel from *Jatropha* oil with high-acid value in ionic liquids," *Bioresource Technology Journal*, vol. 102, pp. 6469-6472, 2011.
- P.M. Bollin, "Production of fatty acid methyl esters in Lewis acidic ionic liquids", Master Thesis, University of Toledo, 2011.
- E.A. Visser, J.G. Huddleston, J.D. Holbrey, W.M. Reichert, R.P. Swatloski, and R.D. Rogers. "Hydrophobic n-alkyl-N-isoquinolinium salts: ionic liquids and low melting solids", *ACS Symposium Series*, vol. 975, pp. 362-380, 2009.
- A.H.M. Fauzi, and N.A.S. Amin, "An overview of ionic liquids as solvents in biodiesel synthesis," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 5770-5786, 2012.
- Z.I. Ishak, N.A. Sairi, Y. Alias, M.K.T. Aroua, and R. Yusoff, "A review of ionic liquids as catalysts for transesterification reactions of biodiesel and glycerol carbonate production," *Catalysis Reviews*, vol. 59(1), pp. 44-93, 2017.
- V.N. Emelyanenko, S.P. Verevkin, and A. Heintz, "Imidazolium-based ionic liquids. 1-methyl imidazolium nitrate: thermochemical measurements and ab initio calculations," *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 113, pp. 9871-9876, 2009.
- S.O. Woon, "Synthesis and applications of imidazolium-based ionic liquids and their polymer derivatives.", Doctoral Dissertation, Missouri University of Science and Technology, Paper 1958, 2012.
- J. Dupont, and P.A.Z. Suarez, "Physico-chemical processes in imidazolium ionic liquids", *Physical Chemistry Chemical Physics*, vol. 8, pp. 2441-2452, 2006.
- European Committee for Standardization, "EN 14104: Fat and oil derivatives - Fatty Acid Methyl Esters (FAME) - Determination of acid value," vol. 3, pp. 1-14, 2003.
- European Committee for Standardization, "EN-14103: Determination of ester and linolenic acid methyl ester contents," pp. 1-11, 2003.
- F. David, A. Vickers, and P. Sandra, "Column selection for the analysis of Fatty Acid Methyl Esters application," Report: Agilent Technologies, p. 12, 2005.

Optimization of reaction conditions for biodiesel synthesis from a waste cooking oil using [HMIM]HSO₄ ionic liquid as catalyst

Goes, H., Ribeiro, A.E., Queiroz, A.M., Brito, P.

Goes, H., Ribeiro, A.E., Queiroz, A.M.

Centro de Investigação de Montanha (CIMO)

Instituto Politécnico de Bragança

Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança,
Portugal

Bruto, P.

Centro de Investigação de Montanha (CIMO)

Instituto Politécnico de Bragança

Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança,
Portugal

paulo@ipb.pt

Abstract— The objective of this work is to study the influence of applying 1-methylimidazolium hydrogen sulfate [HMIM]HSO₄ ionic liquid on the catalysis of esterification/transesterification reactions of an acidic waste cooking oil (WCO). Samples of simulated oils with variable acidity were used as raw material. The samples were prepared by the incorporation of diverse contents of oleic acid in a qualitatively and quantitatively characterized WCO. An experimental design based on a total factorial was generated with three parameters at two levels (2³) in duplicate: A - incorporated oleic acid (%wt.), B - methanol/ simulated oil molar ratio, and C - reaction time. Two responses were evaluated: the reaction conversion of the simulated oil, measured according to the procedure described in the European Standard EN14104/2008, and the produced biodiesel FAME content, estimated by GC-FID, according to the procedure established in the European Standard EN 14103/2003. The fixed reaction parameters were: temperature, 90°C, and catalyst charge, 10% wt, and the statistical analysis was carried out with Design Expert 11 software. The influence of the factors for the conversion response was C>B>A, and the optimal conditions were: 20% (A), 1:40 (B), and 8h (C), reaching a maximum conversion of 96.6%. On the other hand, regarding the FAME content response, the influence of factors was A>C>B, and the optimal conditions were, 40% (A), 1:20 (B), and 8h (C), for a maximum FAME content of 36.5%. It is concluded that the studied IL promoted mainly the esterification of the free fatty acids in the WCO samples, and apparently had little influence in promoting transesterification reactions.

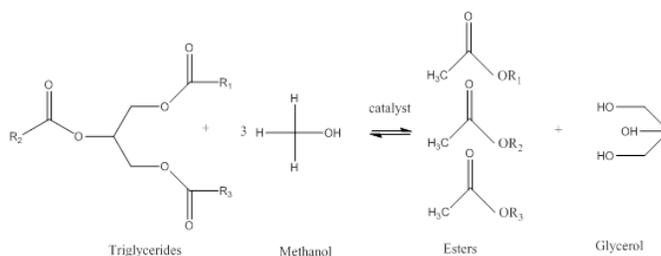
Keywords— biodiesel, optimization, full factorial, ionic liquids

X. INTRODUCTION

Historically, economic growth was always dependent on energy generation, causing pressure on fossil energy sources. In this context, alternative renewable energy

sources have been extensively studied. Therefore, biodiesel, a biofuel obtained from renewable biomass for internal combustion engines or energy generation, exhibits potential to replace partially or totally fossil fuels.

Biodiesel is chemically composed of FAMES (fatty acid methyl esters), that can be obtained from the chemical reaction of triglycerides with an alcohol, in the presence of a catalyst. Different raw materials can be used to produce biodiesel, such as edible vegetable oils (soybean oil, rapeseed oil) or inedible oils (jatropha oil, castor oil), animal fats, waste cooking oils and oils extracted from algae [1]. Acid and basic catalysts are applied to increase the reaction rate. For transesterification reactions (see Fig. 1), basic catalysts (NaOH or KOH) are the most commonly used. Alternative options for these catalysts are ionic liquids (ILs), which are being studied in recent years since they enable a more environmentally sustainable biodiesel production process. Such compounds have potential for recyclability, high catalytic activity, simple operating conditions and high conversion rates with short reaction times [2].

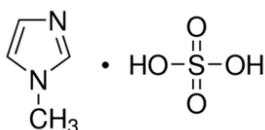


Biodiesel synthesis by transesterification process from vegetable oils with methanol [3].

However, for highly acidic vegetable oils, namely waste cooking oils (WCOs), it is necessary to treat the raw materials in order to reduce its excessive acidity, which may introduce serious operational problems in the downstream processes. Thus, a previous esterification step, a reaction which occurs when a carboxylic acid reacts with an alcohol (usually methanol) to produce an ester (biodiesel) and water, of the free fatty acids (FFA) present in the oils is required, which is usually catalyzed by conventional mineral acids, such as sulfuric acid.

Nevertheless, ILs can also be used as sole catalysts in biodiesel production processes [2, 4], either by esterification or transesterification paths. For these applications, Brønsted acidic ILs reveal to be highly efficient catalysts. In this framework, imidazolium based ILs, due to its inherent ionic patterns, low pressure and ability of self-organization in different states, are the most studied IL species. This type of ILs have been used as green solvents to replace the volatile and relatively toxic organic solvents, in homogeneous and heterogeneous catalysis, materials science, nanomaterials, lithium ion batteries, and separation technology [5-7].

Hence, the objective of this work is to study the influence of applying 1-methylimidazolium hydrogen sulfate, [HMIM]HSO₄, IL on the catalysis of esterification/ transesterification reactions of an acidic WCO, in order to assess the viability of the use of acidic imidazolium based ILs as catalysts in biodiesel production processes. Therefore, samples of simulated oils with variable acidity were used as raw material. These samples were prepared by the incorporation of different contents of oleic acid (tech. 90%) in a previously qualitatively and quantitatively characterized WCO. For the reaction, methanol was used and IL [HMIM]HSO₄, whose chemical structure is presented in Fig. 2, was applied as the catalyst..



Brønsted acidic IL, 1-methylimidazolium hydrogen sulfate, [HMIM]HSO₄, chemical structure.

XI. MATERIALS AND METHODS

A. Materials

The feedstocks used were a waste cooking oil (WCO) sample, oleic acid (OA), tech 90%, obtained from ThermoFisher. IL 1-methylimidazolium hydrogen sulfate was obtained from Sigma Aldrich. Other materials used were n-heptane (99%), anhydrous absolute ethanol and

sodium sulfate anhydrous (Carlo Erba), diethyl ether, methanol, potassium hydroxide, borax and methyl red indicator (Riedel-de-Haën), concentrated sulfuric acid and boron trifluoride-methanol (Sigma Aldrich), and hydrochloric acid (37%) (Fisher Chemical). The 37 FAME mixture was purchased from Sigma Aldrich and the standard methyl heptadecanoate (97%) was purchased from Tokyo Chemical. The phenolphthalein indicator (99%) was obtained from Panreac. All materials were used without further purification.

B. Characterization of the Feedstocks

The derivatization of fatty acid methyl esters with BF₃ was used to determine the distribution of the fatty acids present in the raw materials for the production of biodiesel. First, there was a derivatization, i.e. the transformation of triglycerides and fatty acids present in the sample in methyl esters and subsequent identification of these compounds by gas chromatography (GC).

In a 20 mL flask, it was added 50 mg of sample and 2.5 mL of KOH methanolic solution (0.5 M). Later, the flask was closed and placed in an oven at 90 °C for 10 min. After this period, it was withdrawn from the oven and let to cool. Then, in the flask at room temperature, 2 mL of BF₃ in methanol solution (14%) was added. The flask was again closed and placed in an oven at 90 °C for 30 min. After that period, it was withdrawn from the oven and let to cool to room temperature. Then, 3 mL of internal standard (methyl heptadecanoate) was added under a vortex for homogenization. Afterwards, 2 mL of a saturated solution of sodium chloride (NaCl) was added under vortex again. Subsequently, the sample was centrifuged for 5 min at 3000 rpm for the total separation of the phases. After centrifugation, it was withdrawn 2 mL of the upper stage and added to a 4 mL vial. It was added anhydrous sodium sulfate in enough quantity to remove all moisture GC analysis was then performed for fatty acids characterization present in the sample.

C. Reaction

Ionic liquid, oleic acid, waste cooking oil and methanol were added, in different previously defined proportions, to a 100 mL reaction vessel. Then, the reaction vessel was immersed in a paraffin bath, coupled to a reflux condenser and placed over an automatic heating plate with stirring and automatic temperature control, and a thermometer was used to confirm the temperature inside the reaction vessel. When the predetermined reaction time was reached, the vessel was removed from the bath and immersed in cold water to stop the reaction. The mixture was transferred to centrifuge tubes and then stored in a refrigerator at 4 °C for a period of 20 h, and then subjected to centrifugation at 3000 rpm for 20 min. until a complete separation of phases is reached. Both splitted phases were stored in flasks and kept in a fridge for further analysis.

D. Reaction Yield

The standard method to measure the acid value of biodiesel is a volumetric titration (acidity is expressed in mg KOH/g oil) using standard solution of KOH with concentration of 0.1 mol/L (EN 14104:2008 [8]). A solution of 1:1 diethyl ether/ethanol (v/v) was used as the solvent for volumetric titration, and phenolphthalein was used as the indicator.

The acid value (AV) of biodiesel was calculated by:

$$AV = \frac{V \times C_{KOH} \times M_W}{m_{biodiesel}} \quad (1)$$

where,

V – Volume of KOH standard solution needed to titrate biodiesel sample (mL);

C_{KOH} – concentration of potassium hydroxide (KOH) standard solution (mol/L);

M_W – molecular weight of KOH (56.1 g/mol);

$m_{biodiesel}$ – mass of biodiesel sample (g).

The biodiesel conversion was estimated using the following equation:

$$\text{Production Yield, } Y(\%) = \frac{AV_i - AV_f}{AV_i} \times 100 \quad (2)$$

where,

AV_i – acidity of oleic acid (initial) (mg_{KOH}/g_{oleic acid});

AV_f – acidity of sample (after reaction) (mg_{KOH}/g_{biodiesel}).

E. Gas Chromatography

Gas Chromatography with a Flame Ionization Detector (GC-FID) was used to measure the FAMES (Fatty Acid Methyl Esters) content in biodiesel samples, in compliance with the European Standard EN14103/2003 [9]. All analyses were carried out on a Varian 3800 GC, equipped with a Supelcowax 10 column (30m×0.25mm×0.25µm). The GC analysis were performed using the following operating conditions: helium flow-rate of 1 mL/min, initial oven temperature of 50 °C maintained for 1 min, then a temperature ramp from 25 °C/min till 200 °C, and then a second ramp temperature at 3 °C/min until 230 °C. The final temperature was maintained for 23 min, for a total running time of 40 min. The injector was operated with a temperature of 250 °C and a split ratio of 1:25. The detector temperature was 250 °C.

The identification of each FAME was done by comparing the retention times of a 37 FAME compound

mix analysis obtained in the GC Shimadzu system with the retention times of a 37 FAME compound mix analysis published by Supelco [10] using a DB-Wax column.

After identification of all 37 compounds, the individual and the total chromatographic areas of FAMES were used to quantify the FAME content present in biodiesel using equation (3), according to EN14104 [8].

$$C(\%) = \frac{(\Sigma A_{FAME} - A_{IS})}{A_{IS}} \cdot \frac{m_{IS}}{m_{biodiesel}} \quad (3)$$

where ΣA_{FAME} is the sum of the areas of all FAMES (from C4:0 to C22:0), A_{IS} is the area of the internal standard (heptadecanoate methyl ester), m_{IS} is the mass of the internal standard and $m_{biodiesel}$ is the mass of the biodiesel sample.

Similarly, the contribution of each FAME compound to the total FAMES content was calculated using equation:

$$C_n(\%) = \frac{A_{FAME(n)}}{A_{IS}} \cdot \frac{m_{IS}}{m_{biodiesel}} \quad (4)$$

where $C_n(\%)$, is the contribution, in percentage, of FAME n in the sample, expressed in mass fraction and $A_{FAME(n)}$ is the area of the compound n . Only the methyl esters which showed a contribution to the total content higher than 1% were considered.

F. Experimental Design

In order to optimize the process and determine the levels of the factors that present the best performance for the response variables, it was adopted a response surface methodology (RSM). This methodology is based on mathematical and statistical techniques for the polynomial fit of the experimental data and so describes the behavior of factors and allows the establishment of statistical predictions [11].

For the application of RSM, an experimental design was generated to represent a set of experiments through the construction of a matrix of different combinations between the levels of the studied factors. The chosen Full Factorial Design 2^3 , shows three factors with two levels and in duplicate: percentage of oleic acid incorporated (20% and 40%wt.), molar ratio oil/methanol (1:20 and 1:40) and reaction time (4 h e 8 h), as presented in Table I.

FACTORS AND LEVELS FOR THE FACTORIAL DESIGN.

Factor	Code	Level	
		-1	+1
incorporated oleic acid	A	20%	40%
molar ratio oil/methanol	B	1:20	1:40
reaction time	C	4 h	8 h

Thus, it was determined a combination matrix with 16 experiments. Table II describes the chosen parameters, the code applied and the respective levels, and the actual experimental values.

GENERAL DATA REGARDING THE FACTORIAL DESIGN.

Order	Code			Real values		
	A	B	C	incorporation of oleic acid (%)	molar ratio oil/methanol (mol/mol)	reaction time (h)
1	1	1	1	40	1:40	8
2	-1	-1	1	20	1:20	8
3	1	-1	-1	40	1:20	4
4	1	-1	-1	40	1:20	4
5	-1	1	1	20	1:40	8
6	1	-1	1	40	1:20	8
7	-1	-1	-1	20	1:20	4
8	-1	-1	-1	20	1:20	4
9	-1	-1	1	20	1:20	8
10	-1	1	-1	20	1:40	4
11	1	1	-1	40	1:40	4
12	1	1	-1	40	1:40	4
13	1	-1	1	40	1:20	8
14	-1	1	1	20	1:40	8
15	1	1	1	40	1:40	8
16	-1	1	-1	20	1:40	4

Each test was performed according to the generic procedure referred to in the *Reaction* section. Two responses were evaluated: the reaction conversion of the simulated oil, and the content in FAMES of the produced biodiesel.

XII. RESULTS

A. Characterization of the Feedstocks

The waste cooking oil (WCO) and oleic acid 90% (OA) were characterized by determination of the acid value (AV) and identification of the fatty acid profile followed by estimation of the composition. The acidity value obtained for the studied WCO sample was 1.56 mg_{KOH}/g_{oil} and for the OA sample, the acid value calculated was 177.04 mg_{KOH}/g_{OA}.

The fatty acid profile in both samples of the feedstock was identified through the derivatization of the Fatty Acid Methyl Esters by BF₃, followed by GC analysis. This analysis was performed in duplicate. Tables III and IV present the qualitative and quantitative characterization of each FAME relatively to the WCO and the OA, respectively. The FAME profile obtained for the WCO is consistent with the fatty acid profile typical of a sunflower oil. According to [12], the main fatty acids present in an oil of this type are C16:0 (5-8%), C18:0 (2-6%), C18:1 (15-40%) and C18:2 (30-70%).

CHARACTERIZATION OF FAME IN WASTE COOKING OIL.

Peak ID	Content (%)
C14:0	0.2
C15:0	0.1
C16:0	9.0
C16:1	0.1
C18:0	3.0
C18:1	27.4
C18:2	37.7
C18:3n6	0.4
C18:3n3	0.4
C20:0	0.2
C20:1	0.2
C20:5n3 + C22:0	0.5
C22:1	0.1
TOTAL	79.3

CHARACTERIZATION OF FAME IN OA.

Peak ID	Content (%)
C15:1	0.2
C16:0	1.7
C18:0	2.9
C18:1	87.3
C18:2	4.5
C18:3n6	0.8
C18:3n3	0.2

C20:1	0.4
TOTAL	98.0

B. Experimental Design

Table V presents the conditions applied to each test, specifying the design matrix, and the results obtained for the response variables. For each response, a different model was developed. The conversion (R_1) was determined by the drop between the initial acidity of the raw material (simulated oil) and the final acidity of biodiesel produced in accordance with the procedure described in section *Reaction Yield*. The FAME content (R_2) was determined by GC analysis of biodiesel produced in accordance with the procedure in section *Gas Chromatography*.

EXPERIMENTAL DESIGN, AND EXPERIMENTAL RESPONSES.

Order	Code			Experimental Response	
	A	B	C	Conversion (%)	FAME content (%)
1	1	1	1	93.96	32.8
2	-1	-1	1	90.85	17.9
3	1	-1	-1	74.89	29.1
4	1	-1	-1	76.87	30.9
5	-1	1	1	96.92	17.5
6	1	-1	1	87.09	36.7
7	-1	-1	-1	79.86	16.5
8	-1	-1	-1	81.51	15.2
9	-1	-1	1	93.91	18.2
10	-1	1	-1	89.34	14.9
11	1	1	-1	88.55	29.2
12	1	1	-1	87.76	29.8
13	1	-1	1	88.83	36.9
14	-1	1	1	96.41	16.9
15	1	1	1	96.80	34.8
16	-1	1	-1	89.41	14.8

The analysis of variance (ANOVA) makes it possible to compare the combination of factors with the variation of random errors associated with the generated responses. From this comparison it is possible to evaluate the significance of the proposed regression, considering the sources of imprecision and experimental inaccuracy [11]. The ANOVA results, presented in Table VI for the

conversion response, was developed using the software Experimental Design 11.

ANOVA FOR THE CONVERSION RESPONSE WITH $\alpha = 0.05$.

Variation	Square Sum	DF	Average Squares	F_{calc}	F_{tab}	p-value
Model	700.43	6	116.74	74.63	3.37	3.65959×10^{-7}
A	34.42	1	34.42	22.00	5.12	0.0011
B	266.64	1	266.64	170.47	5.12	3.74136×10^{-7}
C	366.56	1	366.56	234.35	5.12	9.451448×10^{-8}
AB	11.32	1	11.32	7.23	5.12	0.0248
AC	0.0256	1	0.0256	0.0164	5.12	0.9010
BC	21.48	1	21.48	13.73	5.12	0.0049
Residual	14.08	9	1.56			
Lack of fit	0.0512	1	0.0512	0.0292	5.32	0.8686
Pure error	14.03	8	1.75			
Total	714.51	15				

DF – degrees of freedom

The significance of the regression is evaluated by the Fisher test (F test), which consists in the comparison between the F_{calc} and F_{tab} . If F_{calc} is greater than F_{tab} , there is significant difference between treatments in relation to the error level (α) applied. If F_{calc} is lower than F_{tab} , it is concluded that there are no significant differences between the treatments. Another possibility is the comparison of the p-value with α . If the p-value is lower than α , there is significant difference between the treatments, and if the p-value is greater than α , it is concluded that there are no significant differences between the treatments.

According to ANOVA for the conversion response, the model is significant, because the value of F_{calc} (74.63) is greater than the F_{tab} (3.37). The regression is statistically significant and, therefore, the model is well fitted to the data, with a confidence level of 95% ($\alpha = 0.05$). Regarding the lack of fit, the comparison between the F_{tab} (5.32) and the F_{calc} (0.0292) indicates the non-significance of the factor, because $F_{tab} > F_{calc}$, i.e. the model errors are due to random errors and are inherent in the system, and not a problem with the adjustment of data. So, the model is significant, while the lack of fit is not.

The significant factors are A, B, C, and interactions AB and BC. AC interaction is not significant.

The p-value determines the order of significance of the factors, that is, the smaller the p-value, the greater the influence of the factor on the outcome of the conversion response [1]. In this way, the descending order of significance of the factors is C (reaction time), B (molar

ration oil/methanol), A (incorporation of oleic acid), interaction BC, AB and AC (not significant).

The mathematical model (see equation 5) estimated to determine the relationship between the conversion response (R_1) of the esterification reaction and the studied factors obtained a coefficient of determination (R^2) of 0.9803, which represents a good fit to the statistical model.

$$R_1 = 88.31 - 1.47A + 4.08B + 4.79C + 0.8410AB + 0.0400AC - 1.16BC \quad (5)$$

From the equation one can observe that factor A shows a negative effect on the response, while factors B and C exhibit positive effects, represented by negative and positive signals assigned to each factor. The descending order of influence of factors is described as $C > B > A$, represented by the respective multiplicative coefficients for each factor. AC interaction has a non-significant influence in the response, represented by the corresponding low coefficient observed in the equation. On the other hand, interaction BC, with a negative effect, shows greater influence in the response than the positive effect AB interaction.

Considering the studied conditions, the factors and their respective levels, the best settings for the conversion response were determined. These optimal conditions with coded and real values are presented in Table VII.

OPTIMAL CONDITIONS FOR THE CONVERSION RESPONSE.

Factor Code	Factor	Level	Real value (%)
A	incorporation of oleic acid	-1	20 %
B	molar ratio oil/methanol	+1	1:40 (mol/mol)
C	reaction time	+1	8 h

In Table VIII it is presented the ANOVA results corresponding to the FAME content response, again developed using the software Experimental Design 11.

ANOVA FOR THE FAME CONTENT RESPONSE WITH $\alpha = 0.05$.

Variation	Square Sum	DF	Average Squares	F_{calc}	F_{tab}	p-value
Model	1109.94	6	184.99	257.21	3.37	1.52352×10^{-9}
A	1028.09	1	1028.09	1429.46	5.12	3.14374×10^{-11}
B	7.24	1	7.24	10.07	5.12	0.0113
C	61.67	1	61.67	85.75	5.12	6.7582×10^{-6}
AB	0.6869	1	0.6869	0.9551	5.12	0.3540
AC	10.89	1	10.89	15.14	5.12	0.0037

BC	1.37	1	1.37	1.90	5.12	0.2014
Residual	6.47	9	0.7192			
Lack of fit	1.74	1	1.74	2.95	5.32	0.1241
Pure error	4.73	8	0.5910			
Total	1116.42	15				

DF – degrees of freedom

From the ANOVA study, it is evident the significance of the model obtained for the FAME content response, through the comparison of F_{calc} (257.21) and F_{tab} (3.37). Since $F_{calc} > F_{tab}$ the significance of the model is established. The comparison of the p-value for the model (1.52×10^{-9}) with α (0.05), reaffirms the significance of the model. So, the regression is statistically significant and, therefore, the model fits well with the experimental data, with a confidence level of 95%. Furthermore, regarding the lack of fit, the comparison between the F_{tab} (5.32) and the F_{calc} (2.95) indicates its non-significance. Therefore, for the FAME content response, the model is significant, while the lack of fit is not.

The significant factors are A, B, C and the AC interaction. On the other hand, the AB and BC interactions are non-significant. In this way, the descending order of significance of the factors is A, C, AC interaction and B.

The mathematical model (see equation 6) constructed to relate the FAME content response (R_2) of the biodiesel produced and the studied factors obtained a coefficient of determination (R^2) of 0.9942, which also represents a good fit to the statistical model.

$$R_2 = 24.51 + 8.02A - 0.6727B + 1.96C - 0.2072 AB + 0.8250 AC - 0.2922BC \quad (6)$$

From the equation one can realize that factors A and C have a positive effect on the response, while the B factor has a negative effect. The descending order of influence of factors is described as $A > C > B$, and the model confirmed this feature by the values of the coefficients associated with each factor. AB and BC interactions have no significant influence in the response, represented by low coefficient assigned in the model. The interaction AC shows greater influence than the other interactions.

For the conditions studied, the factors and their respective levels, it was possible to determine the best settings which provided the highest FAME content in the biodiesel produced from the simulated oil. These optimal conditions with coded and real values are presented in Table IX.

OPTIMAL CONDITIONS FOR THE FAME CONTENT RESPONSE.

Factor Code	Factor	Level	Real value (%)
A	incorporation of oleic acid	+1	40 %
B	molar ratio oil/methanol	-1	1:20 (mol/mol)
C	reaction time	+1	8 h

XIII. CONCLUSIONS

The use of waste cooking oils makes it possible to decrease the cost of production of biodiesel, as this is a key feature for the final product to be competitive with petrochemical market. The oil used shows an acid value of 1.56 mg KOH/g and the determination of the FAME profile leads to the conclusion that it is similar to a used sunflower oil (9 % C16:0, 3 % C18:0, 27.4 % C18:1 and 37.7 % C18:2).

For both responses, conversion and FAME content, the three factors: (A) percentage of incorporation of oleic acid, (B) molar ration oil/methanol and (C) reaction time, showed statistical significance. For the conversion, the influence of the factors was C>B>A and thus, it was possible to determine the best experimental conditions in order to get the highest conversion: 20%wt. incorporation of oleic acid, oil/methanol molar ratio 1:40, 8 h of reaction time, reaction temperature of 90 °C, and 10%wt. of catalyst load, leading to a conversion of 96.6%. In relation to the content in FAMES, the influence of the factors was A>C> B and the best conditions for the highest FAME yield (with 36.5%wt.) were: 40%wt. incorporation of oleic acid, oil/methanol molar ratio 1:20, 8 h of reaction time, reaction temperature of 90 °C, and 10% wt. of catalyst load. With a high conversion rate and a yield of FAME next to the amount of oleic acid added, it was concluded that the IL used, promoted essentially the esterification reaction, having demonstrated almost null influence on the catalysis of the transesterification reaction.

REFERENCES

- F. Roman, Biodiesel production through esterification applying ionic liquids as catalysts. MSc. Thesis, Polytechnic Institute of Bragança, Portugal, 2018.
- Z.I. Ishak, N.A. Sairi, Y. Alias, M.K.T. Aroua, and R. Yusoff, "A review of ionic liquids as catalysts for transesterification reactions of biodiesel and glycerol carbonate production," *Catalysis Reviews*, vol. 59(1), pp. 44-93, 2017.
- Z. Ullah, M.A. Bustam, and Z. Man, "Biodiesel production from waste cooking oil by acidic ionic liquid as a catalyst," *Renewable Energy*, vol. 77, pp. 521-526, 2015.
- A.H.M. Fauzi, and N.A.S.Amin, "An overview of ionic liquids as solvents in biodiesel synthesis," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 5770-5786, 2012.
- V.N. Emelyanenko, S.P. Verevkin, and A. Heintz, "Imidazolium-based ionic liquids. 1-methyl imidazolium nitrate: thermochemical measurements and ab initio calculations," *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 113, pp. 9871-9876, 2009.

- S.O. Woon, "Synthesis and applications of imidazolium-based ionic liquids and their polymer derivatives.", Doctoral Dissertation, Missouri University of Science and Technology, Paper 1958, 2012.
- J. Dupont, and P.A.Z. Suarez, "Physico-chemical processes in imidazolium ionic liquids", *Physical Chemistry Chemical Physics*, vol. 8, pp. 2441-2452, 2006.
- European Committee for Standardization, "EN 14104: Fat and oil derivatives - Fatty Acid Methyl Esters (FAME) - Determination of acid value," vol. 3, pp. 1-14, 2003.
- European Committee for Standardization, "EN-14103: Determination of ester and linolenic acid methyl ester contents," pp. 1-11, 2003.
- F. David, A. Vickers, and P. Sandra, "Column selection for the analysis of Fatty Acid Methyl Esters application," Report: Agilent Technologies, p. 12, 2005.
- M.A. Bezerra, R.E. Santelli, E.P. Oliveira, L. S. Villar, and L. A. Escalera, "Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry," *Talanta*, vol. 76(5), pp. 965-977, 2008.
- I. Ambat, V. Srivastava, M. Sillanpää, "Recent advancement in biodiesel production methodologies using various feedstock: a review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 356-369, 2018.

Análise de indicadores de erosão hídrica com uso de simulador de chuva em solos sob condições de seca do Nordeste de Portugal

Ana Caroline Royer, Tomás de Figueiredo, Felícia Fonseca, Fabiana Costa Araujo Schütz

1 Ana Caroline Royer
CIMO – Centro de Investigação de
Montanha
Instituto Politécnico de Bragança –
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná UTFPR
Bragança, Portugal
anaroyer@alunos.utfpr.edu.br

2 Tomás de Figueiredo
CIMO – Centro de Investigação de
Montanha
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
tomasfig@ipb.pt

3 Felícia Fonseca
CIMO – Centro de Investigação de
Montanha
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
fonseca@ipb.pt

4 Fabiana Costa Araujo Schütz
Departamento de Ciências Ambientais
e Biológicas
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná UTFPR
Medianeira, Brasil
fabianaschutz@utfpr.edu.br

Resumo— A erosão é apontada como o principal fenómeno responsável pela degradação dos solos. A crescente intensificação dos processos erosivos, associadas as atividades antrópicas, tem consequências que vão além das perdas das funções do solo, uma vez que conduzem a acentuação de eventos climáticos extremos, no contexto do nordeste transmontano português, especialmente a seca e a desertificação. Ainda não estão bem descritos e compreendidos os efeitos de períodos prolongados de seca na resposta erosiva às primeiras chuvadas que se sucedem. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar indicadores de resposta erosiva de solos submetidos a um período prolongado de seca, utilizando simulador de chuva. Para tal, foram selecionados 5 solos suscetíveis e representativos da região NE de Portugal, os quais foram submetidos a um período de 6 meses de secagem e logo após, a 2 chuvas simuladas, de 30 min de duração cada, com intensidade média de 72,55 mm.h⁻¹, a considerar um intervalo de 1 hora entre as chuvas. Os parâmetros obtidos no ensaio, nomeadamente volume e sedimento escoado, perda de solo e salpico, permitiram a estimativa de indicadores de resposta erosiva, designadamente Coeficiente de Escoamento (CE), Concentração de Sedimentos Global (CSg), Erodibilidade (EROD) e Destacabilidade (DET). As propriedades físico-químicas do solo, tais como textura, pedregosidade e matéria orgânica, influenciam substancialmente a resposta erosiva, sendo o efeito do tipo de solo estatisticamente significativo em CSg, EROD e DET. O efeito chuvada foi detectado como significativo para CE, CSg, DET e o escoamento. Constatou-se que o tempo de início do escoamento diminui conforme o aumento da humidade do solo, ou seja, as perdas de água, bem como de solo, são maiores conforme o aumento da humidade do solo. Ainda, o efeito das primeiras precipitações em solos secos se reflete não necessariamente em maiores perdas de solo por escoamento, mas sim, numa maior concentração de sedimentos e perdas por destacabilidade, que foram em média, 30% e 20% maiores na primeira do que na segunda chuva, respectivamente. Portanto, as condições de escassez de água podem gerar perdas erosivas mais pronunciadas, condicionadas pelo tipo de solo e, principalmente, pela intensidade da precipitação que o atingir após o período prolongado de seca.

Palavras-chave — perda de solo, escoamento, salpico, humidade do solo.

I. INTRODUÇÃO

A degradação do solo é apontada pela Organização das Nações Unidas – ONU como um dos maiores problemas ambientais da atualidade, o que fez com que o 15.º Objetivo do Desenvolvimento Sustentável fosse intitulado “Proteger, restaurar e promover a utilização sustentável dos ecossistemas terrestres, manejar sustentável das florestas, combater a desertificação, e suspender e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade” [1]. Quando este problema é associado às intensas atividades humanas, o processo pode culminar na desertificação de áreas significativas, ameaçando a segurança alimentar da população [2].

Vários são os fatores de degradação do solo, dentre os quais o maior enfoque é dado aos processos erosivos, uma vez que a maioria dos demais fatores resulta na intensificação deste fenómeno. A erosão é a principal responsável pelo empobrecimento dos solos e pode ser definida como o processo de desprendimento e arraste acelerado por agentes erosivos das partículas do solo, sendo o principal agente apontado como a água [2] [3] [4].

A erosão hídrica acontece por fases, que incluem a desagregação das partículas do solo, seu transporte e a deposição dos sedimentos, caracterizando formas principais, comumente designadas: erosão por salpico, laminar, em sulcos e ravinas. O primeiro estágio, salpico, também conhecido como *splash*, se dá pelo impacto das gotas da chuva, que caem com energia cinética e velocidade variáveis, desprendendo as partículas do solo. O escoamento superficial (*runoff*) terá início a partir do momento em que a intensidade de precipitação exceder a taxa de infiltração do solo. Por esse fenómeno os sedimentos do solo são transportados e, quando a energia necessária para a movimentação cessa, a deposição ocorre [3] [4] [5] [6].

A tipologia e a intensidade da erosão são determinadas pelas condições ambientais de uma região, nomeadamente o clima, o solo, morfologia, uso do solo, cobertura vegetal e manejo do solo [4]. As propriedades de cada tipo de solo, tais como a textura, estrutura, densidade aparente, porosidade, consistência, teor de matéria orgânica e desenvolvimento do

perfil do solo, desempenham um papel crucial na vulnerabilidade à erosão [5].

Os processos erosivos são presentes na região Nordeste (NE) de Portugal, em parte devido ao clima mediterrânico da região, bem como a topografia favorável, com extensas zonas de montanha sensíveis aos processos de erosão hídrica, somadas as características dos solos predominantemente delgados e pedregosos, em sua maioria Leptosolos. A suscetibilidade da região é objeto de diversos estudos, uma vez que apresenta risco potencial que podem favorecer e acelerar os processos de degradação e, em decorrência, de desertificação [7] [8]. Ademais, o uso e cobertura da terra vem sofrendo profundas mudanças ao longo dos últimos anos, assim como o aumento da variabilidade das condições do tempo, nomeadamente os períodos de seca prolongados e, por outro lado, eventos de intensa precipitação, que compõem um cenário indutor de processos erosivos.

A erosão também contribui para a redução da capacidade de infiltração e da humidade disponível no solo, o que resulta em condições mais propensas ao surgimento de secas [3] [9]. O contrário também é válido, pois a seca também diminui a capacidade de retenção da humidade do solo, ocasiona a ruptura dos agregados e forma torrões, que revelam maior tendência a serem erodidos com o surgimento das chuvas, natural fator impulsionador da erosão.

Com o intuito de quantificar e/ou estimar as perdas de solo por erosão, foram desenvolvidos vários modelos empíricos, sendo que o mais difundido globalmente é a Equação Universal de Perda de Solo Revisada – RUSLE [10]. Além dos métodos empíricos, o fenómeno pode ser avaliado de forma experimental, com o auxílio de simuladores de chuva. Estes permitem controlar as variáveis assim como eventuais interferências indesejadas, sendo possível simular o estudo de distintos tipos de solo, com usos e coberturas vegetais diferentes, condicionadores, assim como práticas de conservação e de manejo do solo [3] [5].

Nesse contexto, este estudo teve como propósito avaliar a resposta erosiva por meio de indicadores, sob chuva simulada aplicada à solos representativos do NE transmontano de Portugal, submetidos a um período prolongado de secagem.

II. METODOLOGIA

A área de estudo corresponde a região NE de Portugal, com aproximados 1.309 mil ha, cujos limites foram propostos por Agroconsultores e Coba, em 1991. Na ocasião deste estudo, também foram identificados os regimes climáticos em função do relevo (Montanha, Planalto ou transição), da temperatura média anual e da precipitação média anual definidos na carta de solos do nordeste de Portugal [11].

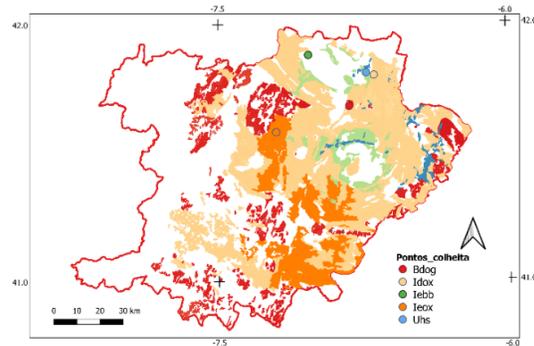
Para a seleção dos solos, foram considerados os critérios de representatividade no território e das zonas climáticas, bem como a suscetibilidade do solo em função das suas propriedades. A Tabela I apresenta os solos selecionados, bem como uma síntese de suas características. Na Fig. 1 é possível verificar o local de colheita dos solos, que distribuem-se pelo concelho de Bragança, e a sua representatividade na área de estudo.

TABELA I. Características dos solos estudados.

Solo	Classificação	^a Zona Climática
Bdog	Cambissolo dístrico órtico de granitos	T3,F3,F4 semiárido
Idox	Leptosolo dístrico órtico de xistos e rochas afins	Q4, Q5, T4, T5 semiárido
Ieox	Leptosolo êutrico órtico de xistos e rochas afins	Q5 semiárido
Iebb	Leptosolo êutrico câmbico de rochas básicas (metabásicas)	T4, F2 subhúmido seco a chuvoso
Uhs	Alissolos de sedimentos detriticos não consolidados	T3, T4 húmido

Fonte: Adaptado de Agroconsultores e Coba (1991) [11].
^a extraído de Morais (2019) [12].

Fig. 1. Localização dos pontos de colheita de solos na região NE de Portugal.



Com exceção do solo Uhs, que apresenta profundidade elevada de aproximadamente 25 cm, os demais solos são delgados, com pouco desenvolvimento de horizontes. Os relevos são de inclinação média, em geral. Os solos amostrados foram crivados à malha 2 mm, dispostos em tabuleiros de plástico com área de 322 cm², sendo 3 tabuleiros para cada tipo de solo, de forma a garantir uma densidade aparente semelhante a original. Após apontadas as humidades, os recipientes passaram por uma simulação de chuva realizada por Morais [12] e após, permaneceram sob secagem durante um período aproximado de 6 meses. Passado este tempo, os solos foram submetidos a uma segunda simulação de chuva controlada, previamente determinados os novos teores de humidade.

Para a chuva simulada, utilizou-se um simulador do tipo aspersor (Fig. 2a), com 4 patas de sustentação ajustáveis e altura aproximada de 2,65m, fazendo com que a área molhada atingisse aproximados 9m². Os solos foram alocados na área central da aspersão de água, com auxílio de um suporte com 14,5% de declive (Fig. 2b). As condições de precipitação (P) foram calibradas, com controle de pressão a 0,40 bar e testes prévios de intensidade (I) com duração de 10 min a cada tipo de solo simulado. Cada tabuleiro passou por 2 chuvadas, com duração de 30 min cada e com um intervalo de 1 h entre as chuvas. A calibração permitiu adotar uma I_{média} de 72,55 mm.h⁻¹, bem como uma P_{média} (I_{média}/2) equivalente a 36,27 mm, para todas as 10 simulações. Assumiu-se que a precipitação representa a erosividade da chuva, uma vez que se trata de uma chuva simulada, com duração conhecida e intensidade constante.

Fig. 2a. Simulador de chuva tipo aspersor



Fig. 2b. Suporte para 3 tabuleiros por simulação



Durante os ensaios, foi realizada a detecção do tempo necessário para o início do escoamento, bem como coleta do volume escoado e dos sedimentos do salpico, os quais permitiram quantificar os parâmetros Escoamento (E , mm), Perda de Solo (PS , $g \cdot m^{-2}$) e Perda por Salpico (SP , $g \cdot m^{-2}$). Por conseguinte, foi possível obter os seguintes indicadores para cada simulação, conforme Tabela II: Coeficiente de Escoamento (CE), Concentração de Sedimentos Global (CSg), Erodibilidade (EROD) e Destacabilidade (DET).

TABELA II. Equações utilizadas para os indicadores das simulações.

Indicador (unidade)	Fórmula de cálculo
CE – Coeficiente de Escoamento	$CE = E(mm)/P(mm)$
CSg – Concentração de Sedimentos Global ($g \cdot L^{-1}$)	$CSg = PS(g \cdot m^{-2})/E(mm)$
EROD – Erodibilidade ($ton \cdot ha^{-1} \cdot mm^{-1}$)	$EROD = \frac{0,01 \cdot PS(g \cdot m^{-2})}{P(mm)}$
DET – Destacabilidade ($g \cdot m^{-2} \cdot mm^{-1}$)	$DET = SP(g \cdot m^{-2})/P(mm)$

Todos os dados obtidos foram submetidos a tratamento estatístico, sendo o teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, $p_{valor} = 5\%$ (<https://www.socscistatistics.com/tests/kolmogorov/default.aspx>), onde todas as séries foram consideradas normais. Com auxílio da ferramenta Excel, foi realizada a análise de variância, ANOVA fator duplo com repetição, a considerar o efeito solo e chuva. Na sequência, foi realizado o teste LSD – Least Significant Difference para a diferenciação das médias.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de humidade inicial dos solos demonstra um grau extremo de secura, com teores mássicos que variam entre 1,01% e 2,34%, sendo os maiores observados para os solos de maior fração argilosa, Iebb e Uhs, fato atribuído a maior quantidade de microporos.

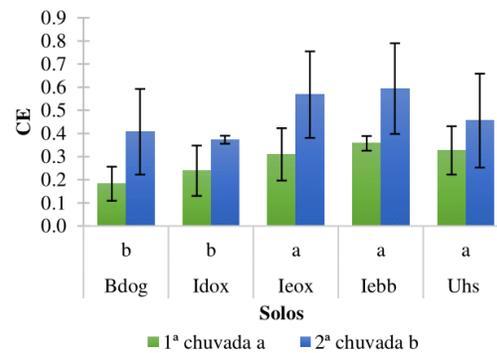
Os resultados obtidos para os quatro indicadores de resposta erosiva bem como o efeito do tipo de solo e chuva permitem levar a interessantes análises. A análise de variância apontou diferenças estatisticamente significativas para o efeito solo nos indicadores CSg ($p = 0,018$), EROD ($p = 0,00$) e DET ($p = 0,034$), com exceção, portanto, do coeficiente de escoamento (CE, $p = 0,134$). Já no efeito chuva, a diferença

se revelou significativa para CE ($p = 0,001$), CSg ($p = 0,013$) e DET ($p = 0,039$). Neste caso, a erodibilidade, que representa as perdas de solo por escoamento, não se mostrou significativamente diferente entre as duas chuvas aplicadas ($p = 0,093$). O efeito duplo, solo e chuva, é verificado para a Concentração de Sedimentos Global e a Destacabilidade.

O Coeficiente de Escoamento (CE) deriva e é proporcional ao escoamento. Este, tardou para iniciar na primeira chuva, cerca de 2 minutos a mais em relação a segunda. Em solos secos, a quantidade de poros preenchidos com água é reduzida, o que faz com que parte da água precipitada seja utilizada para o preenchimento destes poros até então gasosos e, por sua vez, não é direcionada ao escoamento. Este comportamento de redução do tempo de início do escoamento com o aumento da humidade também foi constatado por outros estudos [13] [14].

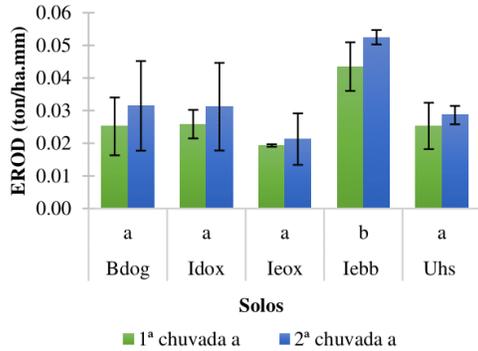
Na Fig. 3 é evidenciado que o escoamento aumenta proporcionalmente à humidade dos solos, visto que os valores de CE da segunda chuva são em média o dobro da primeira. Escoamentos consoantes ao aumento do teor de humidade das amostras de solo sob chuva simulada já estão relatados na literatura [15] [16]. A variação entre solos, embora não significativa pela ANOVA, porém, evidenciada pelo teste LSD, pode ser explicada pelas propriedades intrínsecas de porosidade e matéria orgânica. Esta última, tem efeito redutor no escoamento, ou seja, quanto maior a quantidade de matéria orgânica, menor o escoamento.

Fig. 3. Comportamento do Coeficiente de Escoamento (CE) durante as simulações. Chuvas (legenda) seguidas de letras distintas apresentam diferenças significativas entre si, ANOVA 5%. Solos (abscissa) com letras diferentes apresentam média diferenciada segundo LSD 5%.



O indicador erodibilidade (EROD) reflete as perdas de solo por escoamento e, neste, o efeito solo é considerado significativo pela ANOVA, embora para o escoamento (CE) o efeito não seja revelado significativo. Em contrapartida, o efeito chuva não é verificado para EROD, apesar de ser visível na Fig. 4 o ligeiro aumento das perdas de solo da primeira para a segunda chuva. Iebb foi o solo que apresentou a erodibilidade mais expressiva em relação aos demais solos, apontada pelo teste de diferenciação de médias como sendo $0,02$ e $0,024 \pm 0,002 ton \cdot ha^{-1} \cdot mm^{-1}$ superiores na primeira e segunda chuva, respectivamente.

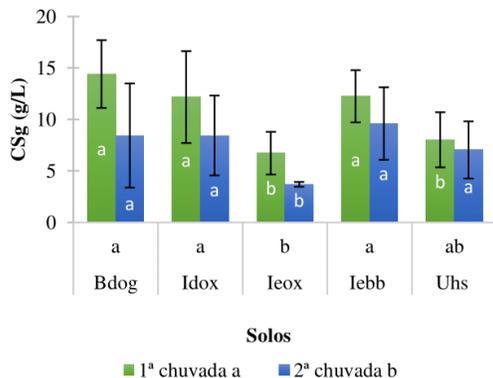
Fig. 4. Comportamento da Erodibilidade (EROD) durante as simulações. Chuvadas (legenda) seguidos de letras distintas apresentam diferenças significativas entre si, ANOVA 5%. Solos (abscissa) com letras diferentes apresentam média diferenciada segundo LSD 5%.



Era expectável que os solos Idox e Ieox apresentassem as maiores perdas de solo, uma vez que suas erodibilidades são consideradas muito alta, relatadas na literatura com valores de 0,061 e 0,071 ton.ha⁻¹.mm⁻¹, respectivamente [16]. No entanto, o comportamento verificado, oposto ao esperado, pode ser atribuído à pedregosidade de pequena dimensão, a qual pode ter diminuído as perdas de solo por terra fina.

A razão entre a perda de solo e ao escoamento é traduzida pelo indicador Concentração de Sedimentos Global (CSg) que, teoricamente, reflete a combinação entre os dois indicadores abordados anteriormente. Para CSg, foram constatados tanto o efeito solo quanto o efeito chuva, como pode ser observado na Fig. 5. Apesar da erodibilidade e do coeficiente de escoamento serem menores na primeira chuva, a concentração de sedimentos revela-se superior àquela verificada na segunda chuva, em média 30% maior. Isto é, a primeira chuva é mais concentrada em termos de sedimentos, apesar das perdas de água serem significativamente menores. Do ponto de vista ambiental, esse comportamento é problemático e merece atenção, pois na medida em que esses sedimentos atingem os corpos hídricos, há um maior impacto ambiental associado.

Fig. 5. Comportamento da Concentração de Sedimentos Global (CSg) durante as simulações. Chuvadas (legenda) e rótulos (barras) seguidos de letras distintas apresentam diferenças significativas entre si, ANOVA 5%. Solos (abscissa) com letras diferentes apresentam média diferenciada segundo LSD 5%.

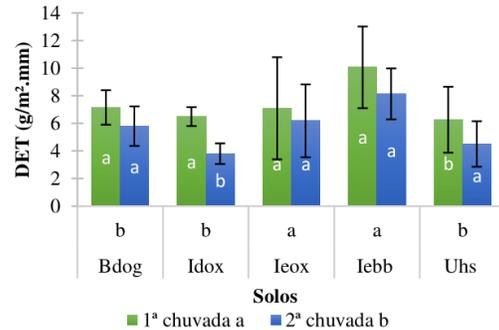


Dentre os solos, Ieox apresentou a menor CSg, em vista dos solos Bdog, Idox e Iebb que estão associados às maiores concentrações, enquanto que a concentração de Uhs se situa na transição destes. De fato, Ieox foi quem apresentou o menor valor para o indicador erodibilidade. Apesar dos dados de teor de elementos grosseiros ainda não estarem disponíveis, atribui-se esse comportamento menos expressivo observado para ambos os indicadores à visível pedregosidade existente nos tabuleiros do solo Ieox, que possui um efeito redutor nas perdas de solo.

Além de CE, EROD e CSg, a destacabilidade (DET) foi avaliada. Esta, reflete as perdas de solos pelo fenómeno de salpico, ou seja, pelo impacto das gotas de chuva que caem com uma determinada energia cinética. Neste indicador, ambos os efeitos foram considerados significativos, tanto solos quanto chuva (Fig. 6).

O solo que apresentou maior destacabilidade foi Iebb, seguido de Ieox, Bdog, Uhs e Idox. A diferença entre solos pode ser explicada pelas características de estabilidade dos agregados, textura e pedregosidade superficial associada a cada um dos tabuleiros de solos. Ao comparar com o padrão de distribuição dos solos para o indicador erodibilidade, o leptossolo Iebb apresenta as maiores perdas em ambas as situações.

Fig. 6. Comportamento da Destacabilidade (DET) durante as simulações. Chuvadas (legenda) e rótulos (barras) seguidos de letras distintas apresentam diferenças significativas entre si, ANOVA 5%. Solos (abscissa) com letras diferentes apresentam média diferenciada segundo LSD 5%.



O índice mais interessante deste indicador é justamente a diferença entre chuvadas. Após o período de secagem, a destacabilidade da primeira chuva foi aproximadamente, em média, 20% maior em relação as perdas de sedimentos por salpico da segunda simulação. Esta observação sugere que a reação dos solos secos quando expostos às primeiras precipitações se traduz em perdas mais expressivas por salpicos. Com efeito, o salpico decresce substancialmente com o aumento da humidade dos solos submetidos ao simulador [15].

No início do experimento, os tabuleiros representavam solos mobilizados, em decorrência do processo de preparação dos mesmos. Os recipientes permaneceram intocáveis ao longo do período de secagem e, os resultados permitem supor que o processo de secagem propiciou a retração dos colóides e a consolidação dos materiais, o que faz com que a resposta erosiva fosse de baixa magnitude, prevalecendo o salpico pronunciado logo do contato com as primeiras precipitações. Outra hipótese suportada é de que as duas chuvas simuladas

não foram suficientes para atingir o grau de saturação dos tabuleiros.

IV. CONCLUSÕES

As simulações realizadas sob os solos selecionados da região NE de Portugal após um período prolongado de seca revelam resultados interessantes no tocante a relação existente entre os processos erosivos e os processos de secagem. Conforme constatado, o teor de humidade inicial do solo influencia as perdas de solo e de água.

O efeito das primeiras precipitações sob solos secos se reflete não necessariamente em maiores perdas de solos carregadas por escoamento, mas sim, essencialmente numa maior concentração de sedimentos e perdas das partículas destacáveis pelo salpico. Apesar de gerar menores perdas de água por escoamento, as primeiras chuvadas têm o efeito de concentração de sedimentos. Com isso, estabelece-se a hipótese de que precipitações mais erosivas do que as simuladas, podem ser indutoras de maiores perdas de solo. Isto é, embora a produção de escoamento não seja muito evidente, a água será capaz de transportar consigo maiores quantidades de sedimentos.

Os resultados encontrados demonstram que o processo perante tal situação ocorre exclusivamente na camada superficial e, sugere que o processo de secagem altera a agregação das partículas, podendo levar a formação de uma crosta no horizonte superficial que permite que o escoamento se pronuncie mesmo que o perfil em profundidade não esteja completamente saturado, isto é, com todos os poros preenchidos com água.

Portanto, as condições de escassez de água podem contribuir para a geração de perdas erosivas mais pronunciadas, sendo que estas são condicionadas pelas características dos tipos de solo e, principalmente, pela erosividade das precipitações que atingem os solos sob condições de seca, isto é, a intensidade associada as chuvadas.

AGRADECIMENTOS

À todas as pessoas que de alguma forma auxiliaram no desenvolvimento das simulações de chuva. Ao Instituto Politécnico de Bragança e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela oportunidade de participar do programa de dupla diplomação.

REFERÊNCIAS

- [1] United Nations. Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development. October, 2015. Retrieved Januar, 11, 2019 from <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>
- [2] FAO and ITPS. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. "Status of the World's Soil Resources (SWRS) – Main report. Rome, Italy, 2015.
- [3] J. Bertoni e F. Lombardi Neto. Conservação do solo. São Paulo, Ed. Ícone, 1990.
- [4] N. Evelpidou, S. Cordier, A. Merino, T. de Figueiredo e C. Centeri. Runoff Erosion. Lifelong Learning Programme, 2013.
- [5] A. J. T. Guerra, A. S. da Silva, e R. G. M. Botelho. Erosão e Conservação dos Solos - Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, Ed. 3ª ed., 2007.
- [6] R. P. C. Morgan. Soil Erosion and Conservation. United States of America, 3ª ed., 2005.
- [7] T. de Figueiredo, 2013. Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano. Instituto Politécnico de Bragança, Ed., 84ª-Série. Bragança, 2013.
- [8] T. de Figueiredo, F. Fonseca e L. Nunes. Os solos e a suscetibilidade à desertificação no NE de Portugal. In T. de Figueiredo, F. Fonseca, e L. Nunes (Eds.) *Proteção do solo e combate a desertificação: oportunidade para as regiões transfronteiriças*, pp. 97-100. Bragança, ESA/IPB, 2015.
- [9] R. P. C. Morgan. Soil Erosion and Conservation. 3ª ed. USA, 2005.
- [10] K. G. Renard, G. R. Foster, G. A. Weesies, D. K. Mccool, and D. C. Yoder. Predictiong Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agricultur. Washington, 1997.
- [11] Agroconsultores e Coba. Carta dos Solos, Carta do Uso Actual e Carta de Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal. PDRITM. Vila Real: Universidade de Trás-os-Monstes e Alto Douro, 1991.
- [12] L. Morais. Eficácia de condicionadores de solo para a redução da sua erodibilidade no nordeste de Portugal avaliada com simulação de chuva. Instituto Politécnico de Bragança, 2019.
- [13] R. B. Spohr, R. Carlesso, C. G. Gállarreta, F. G. Préchac, M. G. Petillo. Modelagem do escoamento superficial a partir das características físicas de alguns solos do Uruguai. *Ciência Rural* 39 (jan-fev), pp. 74-81, 2009.
- [14] J. Y. C. dos Santos, C. A. G. Santos e R. M. Silva. Perdas de água e solo utilizando chuva simulada em diferentes coberturas superficiais e condições de umidade no semiárido paraibano. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, n.4, 17, pp. 217-228, Outubro, 2012.
- [15] A. L. F. Alves. Efeitos de condicionadores do solo na erosão hídrica em áreas ardidas no nordeste do Portugal. Instituto Politécnico de Bragança, 2018.
- [16] A. Cavalli. Áreas ardidas e risco de erosão potencial em zonas de monstanha do NE de Portugal. Instituto Politécnico de Bragança, 2017.

Energetic valorization of coffee grounds mixed with lignocellulosic biomass in different proportions

Santa Margarida Santos, Luis Filipe Calado, Octávio Alves, Roberta Panizio, Valter Silva, Paulo Brito

Santa Margarida Santos
VALORIZA- Research Center for
Endogenous Resource Valorisation,
Polytechnic Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal
margarida.santos@ippportalegre.pt

Luis Filipe do Carmo Calado
VALORIZA- Research Center for
Endogenous Resource Valorisation,
Polytechnic Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal
luis.calado@ippportalegre.pt

Octávio Alves
VALORIZA- Research Center for
Endogenous Resource Valorisation,
Polytechnic Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal
octavio.alves@ippportalegre.pt

Roberta Panizio
VALORIZA- Research Center for
Endogenous Resource Valorisation,
Polytechnic Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal
rpanizio@ippportalegre.pt

Valter Silva
VALORIZA- Research Center for
Endogenous Resource Valorisation,
Polytechnic Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal
valter.silva@ippportalegre.pt

Paulo Brito
VALORIZA- Research Center for
Endogenous Resource Valorisation,
Polytechnic Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal
pbrito@ippportalegre.pt

Abstract— Increased waste production and the problems of inadequate management are one of the major challenges today. The implementation of waste-to-energy technologies may be one of the most sustainable options in solving the waste problem. Gasification, a technology that converts carbon-rich materials into a value-added fuel gas with several applications was the technology chosen for the energetic recovery of abundant wastes in Portugal. Pellets of coffee grounds and pellets of lignocellulosic biomass, as well as mixtures of these were gasified in a downdraft reactor, and the gases obtained were characterized by their composition (CO, H₂, CH₄, CO₂, N₂) and their lower calorific value. The best results were obtained with 100% coffee grounds pellets and 50% coffee grounds pellets, where LHV was 3.44 and 3.45 MJ/ kg respectively. The results suggest the suitability of these residues for the production of biofuels through gasification.

Keywords— pellets, coffee grounds, lignocellulosic biomass, gasification.

I. INTRODUCTION

Recently, there has been an enormous economic development which has allowed the increase of the purchasing power of the population and consequently the increase of waste production, given the model of linear economy that has been installed. The increase in waste production is more noticeable in developing countries, due to the poor quality of the waste management systems, which pose serious problems, mainly to public health and the environment. In order to manage this discouraging situation, the implementation of Waste-To-Energy technologies can play a crucial role not only in waste load management but also in socio-economic and environmental aspects by providing access to a clean energy source and renewable [1]. In this sense, the residues have been studied, aiming at their conversion into energy.

The agroindustry residues such as coffee grounds have enough abundance in Portugal. It is known that the per capita consumption per year of coffee is 4.4 kg [2], equivalent to 45.364 thousand tons of coffee consumed in 2017, taking into account the Portuguese population in that year (10.31 million) [3]. Coffee is the second most traded product in the world, after oil and its derivatives and considering its health benefits, it is probable that consumption will increase [4], which turns out to be worrisome due to the large waste streams generated

by this sector and most of the time unused. Coffee production consists of extracting a small number of selected compounds from the grain, thus generating massive residues in the form of husks and coffee grounds, the latter resulting from the remaining millings after the desirable compounds have been removed [5]. World production of instant coffee and roasted coffee beans generates approximately 6 million tons of coffee grounds per year. The coffee grounds are mainly used as compost (in the correction and fertilization of the soil) or deposited in landfills [6]; [5]. Due to the presence of some compounds such as caffeine, tannins, polyphenols and minerals in the composition of the coffee grounds, the application of this in soil presents a great danger of contamination due to the toxicity of these compounds, and therefore does not constitute a sustainable solution [7]; [6]. Depositing to the landfill is an undesirable economic and environmental cost, and other alternatives must be found, aiming at the recovery and more sustainable management of this waste, both by increasing its value as a resource and as a source of energy. Available waste that often have a negative value can be converted into a source of revenue and simultaneously solve the waste management problem [8]. The conversion of residues, namely coffee grounds, lignocellulosic residues and agroindustry residues into bioenergy, mainly through thermochemical processes, has been explored and many studies have published studies in this sense [1]; [9]; [10]. However, some fewer positive characteristics such as the high volatility and humidity of the coffee grounds and high ash content of some lignocellulosic residues generate a mixture with other residues and / or biomasses of more desirable quality. The lignocellulosic residues from cleaning and management of forests would be a viable alternative for incorporations with these residues in the production of energy, contributing also to a better forest management [8].

The Portuguese forest occupies 35.4% of the national territory (about 3.2 million hectares), providing a considerable production of forest exploitation residues, essentially eucalyptus and pine residues due to the dominance of these species [11].

The promotion of the use of biomass residues, by-products and wastes generated in agriculture and forestry, allows to

increase bioenergy capacity and also to reduce the amount of waste that constitutes a huge environmental problem for modern society [8].

Given the availability and the need to find a sustainable alternative for forest residues, the incorporation of this with agroindustry residues such as coffee grounds for the production of bioenergy could be an alternative. Among existing biomass to energy conversion technologies, gasification is recognized as the most effective method for using lignocellulosic biomass.

In this process, biomass is converted into a gas product in an atmosphere with lower amounts of oxygen and at relatively high temperatures. Some by-products like chars, tars and heavy hydrocarbons are also produced [9].

Waste gasification has long been addressed, however there are still few specific studies on gasification of coffee grounds. The largest and most frequent application is in the extraction of value-added products such as sugars, oils, carotenoids, phenolics and other antioxidants, only a small part is used in the production of adsorbents and other materials and a tiny part is used in the bioenergy industry. What often happens, is the conversion of products like sugars and oils into biofuels [5].

However, there are few studies aimed at the direct conversion of coffee grounds into biofuels. It is in this sense that the present work appears, aiming at the energy valorization through the gasification of residues of quite abundance in Portugal, namely coffee grounds and lignocellulosic residues from forest exploitation.

II. MATERIALS AND METHODS

The coffee grounds and lignocellulosic biomass pellets were the raw materials used in the present study. Coffee grounds were offered in their raw state by a Portuguese coffee company (DELTA Cafés), and were later pelletized. The company Casal & Carreira - Biomassa Lda. offered the pelletized raw material, which consisted in residues of forest exploitation, transformation of the wood and residues of wood at the end of life, constituting a more heterogeneous material.

A. Pellets preparation and raw materials characterization

In the present work, coffee grounds were pelletized in an Amandus KAHL Hamburg Germany pelleting press with a power of 3 KW and a capacity of 50 kg / h of pellet production (fig. 1). The pelletizing process occurred at a temperature between 30-50 °C and was based on an extrusion process using a steel die which exerted pressure under the feedstock forcing it to exit through the holes. The collected samples were re-pressed until the required shape and hardness were obtained. After the procedure, the pellets were collected and dried in ambient air for 48 hours (fig. 1).



Figure 1: Representation of the process of pelleting; the pelletizer is represented in the image on the left, and the pellets in the two images on the right.

The coffee grounds and lignocellulosic biomass pellets are illustrated in fig. 2. The moisture content, volatile matter, and ash in the samples were determined according to the European standard BS EN ISO 18134: 2015, BS EN ISO 18123: 2015, and BS EN ISO 18122: 2015, respectively. The fixed carbon content (%FC) was determined according to Eq. 1 established by [12].

$$\%FC = 100 - (\%A + \%VM) \quad (1)$$

%A is the ash content of the sample (db) and %VM is the corresponding volatile matter content (db).



Figure 2: Representation of raw materials used in gasification: (a) pellets of coffee grounds; (b) pellets of lignocellulosic biomass.

B. Gasification process and gas product analysis

The gasification tests of coffee grounds pellets, lignocellulosic biomass pellets and the respective mixtures were carried out in a downdraft gasifier All Power Labs PP20, which is able to generate 20 KW_e of power and with a feeding capacity of about 10 kg / h (fig. 3).

The pellets were fed in the hopper and then passed in the drying zone, where it was preheated. Later, in the pyrolysis zone, the pellets were converted into biochars and some tars, these biochars were oxidized and reduced in the oxidation and reduction zone, finally forming the gaseous product composed essentially of CO, H₂ and CH₄ and other polluting gases, which were later withdrawn from the bottom of the cyclone reactor. After the passage of the first cleaning system (cyclone), the gases passed through the biomass feeding system where the heat was used to pre-heat the biomass.

Finally, the gas at a lower temperature was conducted to the biomass filter and later was burnt in the flare.

For all the tests performed it was attempted to maintain reactor temperatures between 600-800°C.

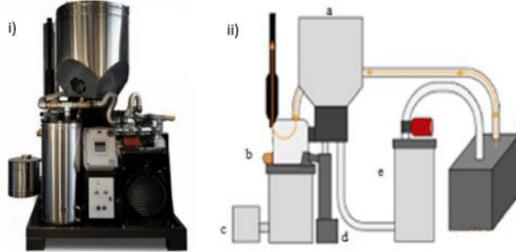


Figure 3: Representation of the downdraft fixed bed gasifier. i)- gasifier image; ii) – gasifier diagram, where, (a) Feeding system (hopper); (b) Reactor; (c) Ashes collecting system; (d) Cyclone filters; (e) Biomass filters; (f) Engine + Generator.

Gas product samples for analysis were collected right after the reactor. The analysis of composition of gases was carried out by gas chromatography using a Varian GC-450, equipped with two thermal conductivity detectors and two capillary columns (Ultimetal 1.5×0.002 m and 1×0.002 m). The lower heating value of gas product (LHV_{pg}) was calculated according to Eq. 2.

$$LHV_{pg} = \sum_{i=1}^n (LHV_i \times x_i) \quad (2)$$

LHV_i is the lower heating value of gas compound i (MJ/m^3), and x_i is the molar fraction of the same gas compound (%mol).

III. RESULTS AND DISCUSSION

The results of the characterization of the raw materials and the composition of the gas product obtained in the gasification tests are discussed in this topic.

A. Raw-materials characterization

The results obtained in the characterization of the raw materials are presented in table I.

Table I: Characterization of raw-materials used in gasification processes. The percentages of CHNSO are expressed as ash-free dry basis. The HHV was estimated according to the equation of Parikh et al. (2005).

Parameters	Raw-materials	
	Coffee grounds pellets	Lignocellulosic biomass pellets
Moisture (%)	20.82 ± 0.11	7.81 ± 0.15
Volatile matter (% db)	71.24 ± 0.19	77.22 ± 0.15
Ashes (% db)	1.64 ± 0.05	4.14 ± 0.39
Fixed carbon (% db)	26.91 ± 0.44	18.48 ± 0.31
C	47.77	49.57
H	7.30	7.58
N	4.11	3.75
S	0.00	0.00
O	40.82	39.11
HHV (MJ/kg db)	20.61	18.54

db- dry basis.

The pellets of coffee grounds, despite having a higher moisture content, have more favorable characteristics for their conversion to energy, compared to pellets of lignocellulosic biomass. It presents the highest fixed carbon (26.91%), lower ash content (1.64%), and consequently higher calorific value (20.61 MJ/kg). The HHV value of coffee grounds pellets are within the range of values verified by [10], ranging from 19.0 to 26.9 MJ/kg .

The value of the fixed carbon of lignocellulosic biomasses is typically in the range of 7% to 20% [13]; the value for pellets of lignocellulosic biomass (18.48%) was located within this range. The pellets of coffee grounds presented a fixed carbon content higher than that established in the literature, which favors the combustible characteristics of this raw material.

The ash content is strongly influenced by the composition and origin of the biomass [14]. The lignocellulosic biomass pellets constitute residues from the forest exploration, residues from the transformation of wood and lignocellulosic materials at the end of life. The higher ash content of the pellets of this material (4.14 %) is due to their heterogeneous composition. This justification is confirmed by [15], who states that the high ash content is associated with the heterogeneity of the raw materials. A high mineral content is associated with the problems of incineration of ashes inside the reactor, formation of deposits, corrosion, incrustations and problems in emissions. Therefore, materials with higher levels of minerals are not advisable for the production of energy through thermochemical processes.

Although the pellets of lignocellulosic biomass have higher contents of ash compared to coffee grounds, it is still lower than that established in the literature (5% for wood residues) [16]. Nevertheless, this biomass can be considered appropriate for energy conversion.

As for the elemental analysis, both raw materials had a relatively high nitrogen and hydrogen content compared to the literature. According to [17] nitrogen and hydrogen levels in the biomasses are around 1.0% and between 5 and 6%, respectively.

The carbon content is within the range of values found in the literature that varied between 30.0% and 60.0%, depending on the ash content [17]; [18]. In relation to the H/C and O/C ratios, both raw materials had an H/C ratio of 1.8, and the coffee grounds pellets had a higher O/C ratio of 0.6, due to their higher moisture, and consequently more oxygen-containing functional groups [19].

Given the higher moisture content of the coffee grounds pellets for gasification (the limit is typically 15% [20]), a pre-heating process or a mixing with other raw materials are required. This last hypothesis has already been tested, and according to [10], when the coffee grounds were mixed with pine sawdust (50/50% wb), particulate and gas emissions, and boiler efficiency were close to obtained for wood pellets [10].

B. Gasification results

The compositions of the gasification gases and the test conditions are given in Table II (gasification with 100% pellets of coffee grounds), Table III (gasification with 50% pellets of coffee grounds + 50% pellets of lignocellulosic

biomass) and table IV (gasification with 10% pellets of coffee grounds + 90% pellets of lignocellulosic biomass).

Due to technical problems of the gasifier (rupture of the air transport tubes to the oxidation zone) the desired temperature (600-800°C) could not be achieved, however, the characterized gas product samples demonstrate a composition suitable for the type of biofuel in question.

Table II: Results of the composition of the gas product obtained in the gasification of 100% coffee grounds pellets and the respective test conditions.

Raw material used in Gasification: 100% coffee grounds pellets			
Parameters	Units	Test 1	Test 2
Oxidation temperature	°C	330	400
Reduction temperature	°C	240	310
Biomass consumption	kg/h	5.89	5.89
Air inlet	m ³ /s	0.0065	0.0081
ER	-	0.620	0.772
Tars	(L/kg biomass)	0.0206	0.0206
Chars	(kg/kg biomass)	0.0058	0.0058
CO₂	% mol	6.51	7.23
C₂H₄	% mol	0.36	0.35
C₂H₆	% mol	0.15	0.14
N₂	% mol	78.99	74.68
CH₄	% mol	1.24	1.56
CO	% mol	14.36	14.44
H₂	% mol	7.43	7.44
LHV	MJ/m ³	3.30	3.44

The results of the composition of the gas product showed an inconstant variation of the main compounds with the variation of the composition of the raw material. In general, the calorific value verified ranged from 2.29 to 3.45 MJ/m³, which is lower than that found in the literature. For example, it was reported in [20] that the energy content of the gas product obtained from gasification of wood biomass in a fixed bed reactor at temperatures between 550-950°C is 4.5 MJ/m³. The lower energy content of the gas product obtained in the gasification tests performed in the present work is due to the lower gasification temperature and the high ER value (0.343 - 0.772). Gasification is dominated by combustion at an equivalence ratio greater than 0.4 [21]. When ER increases, more oxygen is available for fuel ignition and the process is shifted from gasification to combustion, so the increase in ER without being accompanied by the increase of other parameters, such as temperature, biomass flow etc., may favor combustion reactions [22].

Gasification occurs at relatively high temperatures in a range between 600-1500°C [23], and ER between 0.20-0.30 [24]. Because these conditions were not achieved, it was assumed that gasification reactions were less intense and combustion reaction were predominant. Thus, lower calorific values were obtained for the product gases.

Table III: Results of the composition of the gas product obtained in the gasification of 50% coffee grounds pellets + 50% lignocellulosic biomass pellets and the respective test conditions.

Raw material used in Gasification: 50% coffee grounds pellets + 50% lignocellulosic biomass pellets			
Parameters	Units	Test 1	Test 2
Oxidation temperature	°C	400	460
Reduction temperature	°C	267	355
Biomass consumption	kg/h	5.33	5.33
Air inlet	m ³ /s	0.0060	0.0045
ER	-	0.457	0.343
Tars	(L/kg biomass)	0.0625	0.0625
Chars	(kg/kg biomass)	0.0077	0.0077
CO₂	% mol	7.78	10.35
C₂H₄	% mol	0.33	0.09
C₂H₆	% mol	0.00	0.07
N₂	% mol	71.89	83.67
CH₄	% mol	1.29	0.96
CO	% mol	15.65	9.38
H₂	% mol	8.16	6.70
LHV	MJ/m ³	3.45	2.29

The gasification with mixed of 50% coffee grounds pellets and 50% lignocellulosic biomass pellets, resulted in a gas with strange composition. Temperature increment caused a decrease of LHV, due the CO₂, N₂ increase and CO, H₂ and CH₄ decrease. These variations are due to the rupture of the air transport tubes verified during these experiments, which could contaminate the produced gases. The accumulation of corrosive components as halogenated components and tars may be the main reason for the rupture of the air transport tubes.

Table IV: Results of the composition of the gas product obtained in the gasification of 10% coffee grounds pellets + 90% lignocellulosic biomass pellets and the respective test conditions.

Raw material used in Gasification: 10 % coffee grounds pellets + 90 % lignocellulosic biomass pellets		
Parameters	Units	Test 1
Oxidation temperature	°C	445
Reduction temperature	°C	295
Biomass consumption	kg/h	5.82
Air inlet	m ³ /s	0.0041
ER	-	0.413
Tars	(L/kg biomass)	0.0469
Chars	(kg/kg biomass)	0.0068
CO₂	% mol	6.62
C₂H₄	% mol	0.154
C₂H₆	% mol	0.1
N₂	% mol	86.89
CH₄	% mol	1.26
CO	% mol	11.593
H₂	% mol	5.326
LHV	MJ/m ³	2.60

Considering that a graphical analysis allows a better perception, the molar ratio CH_4/H_2 , CO/H_2 and the LHV of the gas product obtained in each test are shown in fig. 4.

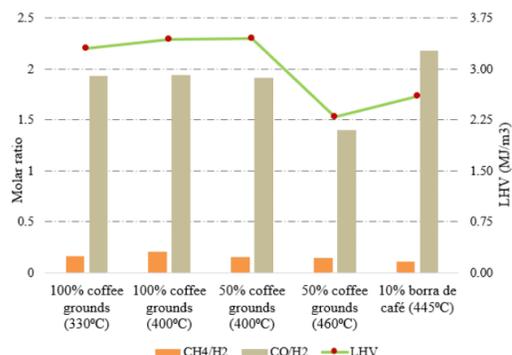


Figure 4: Comparison of the molar ratio CH_4/H_2 , CO/H_2 and LHV of the product gas from the different gasification tests.

Regarding fig. 4, a small increase in LHV was observed when the temperature was increased from 330 °C to 400 °C, for both raw materials with 100% and 50% coffee grounds pellets. Thereafter, the results became difficult to analyze, although the temperature slightly increased the contamination with air, allowed the gas to lose quality. This may be justified as already mentioned by the technical problems verified during these tests. The exhaust gases exhibited a white smoke indicating the presence of mainly water vapor and CO_2 , suggesting the dominance of combustion.

IV. CONCLUSIONS

The coffee grounds presented characteristics that suggest their good quality for energy production, namely high fixed carbon contents, high calorific values and low ash contents.

It is known that this residue is composed of interesting components such as lipids, holocellulose and lignin that allow the production of biofuels of good energetic contents. Therefore, it would be interesting, after the maintenance of the gasifier, to continue with the repetition of the tests and to carry out new tests under different conditions in order to compare with the tests presented in this work and to determine the influence of the coffee grounds on the quality of the product gas.

Gasification of coffee grounds results in a value-added product and constitutes a sustainable and clean way of recovering this waste, which is a fundamental question in the framework of waste management in the concept of circular economy.

REFERENCES

- [1] B. Vaish, B. Sharma, V. Srivastava, P. Singh, M. H. Ibrahim, and R. P. Singh, "Energy recovery potential and environmental impact of gasification for municipal solid waste," *Biofuels*, vol. 10, no. 1, pp. 87–100, Jan. 2019.
- [2] DELTA cafès, "DELTA em números," 2017. [Online]. Available: <http://www.deltacafes.pt/pt/empresa/historia/delta-em-numeros>.
- [3] PORDATA, "População Portuguesa," 2017. [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/Portugal>.
- [4] A. Kovalcik, S. Obruca, and I. Marova, "Valorization of spent coffee grounds: A review," *Food Bioprod. Process.*, vol. 110, pp. 104–119, 2018.
- [5] J. McNutt and Q. (Sophia) He, "Spent coffee grounds: A review on current utilization," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 71, pp. 78–88, 2019.
- [6] A. T. Getachew and B. S. Chun, "Influence of pretreatment and modifiers on subcritical water liquefaction of spent coffee grounds: A green waste valorization approach," *J. Clean. Prod.*, vol. 142, pp. 3719–3727, 2017.
- [7] T. M. Mata, A. A. Martins, and N. S. Caetano, "Bio-refinery approach for spent coffee grounds valorization," *Bioresour. Technol.*, vol. 247, no. July 2017, pp. 1077–1084, 2018.
- [8] H. Paulo, X. Azcue, A. P. Barbosa-Póvoa, and S. Relvas, "Supply chain optimization of residual forestry biomass for bioenergy production: The case study of Portugal," *Biomass and Bioenergy*, vol. 83, pp. 245–256, 2015.
- [9] K. Im-Orb, L. Simasatitkul, and A. Arpornwichanop, "Analysis of synthesis gas production with a flexible H_2/CO ratio from rice straw gasification," *Fuel*, vol. 164, pp. 361–373, 2016.
- [10] A. Lisowski *et al.*, "Spent coffee grounds compaction process: Its effects on the strength properties of biofuel pellets," *Renew. Energy*, vol. 142, pp. 173–183, 2019.
- [11] J. Cardoso, V. Silva, and D. Eusébio, "Techno-economic analysis of a biomass gasification power plant dealing with forestry residues blends for electricity production in Portugal," *J. Clean. Prod.*, vol. 212, no. 2019, pp. 741–753, 2019.
- [12] H. Viana, D. J. Vega-Nieva, L. O. Torres, J. Lousada, and J. Aranha, "Fuel characterization and biomass combustion properties of selected native woody shrub species from central Portugal and NW Spain," *Fuel*, vol. 102, pp. 737–745, 2012.
- [13] Y. Bin Yang, C. Ryu, A. Khor, N. E. Yates, V. N. Sharifi, and J. Swithenbank, "Effect of fuel properties on biomass combustion. Part II. Modelling approach - Identification of the controlling factors," *Fuel*, vol. 84, no. 16, pp. 2116–2130, 2005.
- [14] A. Molino, F. Nanna, and A. Villone, "Characterization of biomasses in the southern Italy regions for their use in thermal processes," *Appl. Energy*, vol. 131, pp. 180–188, 2014.
- [15] J. G. Pohlmann, E. Osório, A. C. F. Vilela, M. A. Diez, and A. G. Borrego, "Integrating physicochemical information to follow the transformations of biomass upon torrefaction and low-temperature carbonization," *Fuel*, vol. 131, pp. 17–27, 2014.
- [16] A. Gomez-Martin, R. Chacartegui, J. Ramirez-Rico, and J. Martinez-Fernandez, "Performance improvement in olive stone's combustion from a previous carbonization transformation," *Fuel*, vol. 228, no. March, pp. 254–262, 2018.
- [17] A. A. Khan, W. de Jong, P. J. Jansens, and H. Spliethoff, "Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies," *Fuel Process. Technol.*, vol. 90, no. 1, pp. 21–50, 2009.
- [18] J. M. Vargas-Moreno, A. J. Callejón-Ferre, J. Pérez-Alonso, and B. Velázquez-Martí, "A review of the mathematical models for predicting the heating value of biomass materials," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 5, pp. 3065–3083, 2012.
- [19] D. Chen, A. Gao, K. Cen, J. Zhang, X. Cao, and Z. Ma, "Investigation of biomass torrefaction based on three major components: Hemicellulose, cellulose, and lignin," *Energy Convers. Manag.*, vol. 169, no. February, pp. 228–237, 2018.
- [20] A. Ramos, E. Monteiro, V. Silva, and A. Rouboa, "Co-gasi fication and recent developments on waste-to-energy conversion: A review," vol. 81, no. June 2016, pp. 380–398, 2018.
- [21] A. A. P. Susastriawan, H. Saptoadi, and Purnomo, "Small-scale downdraft gasifiers for biomass gasification: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 76, no. March, pp. 989–1003, 2017.
- [22] D. Tooy, L. Nelwan, and F. Pangkereo, "Evaluation of Biomass Gasification Using Coconut Husks in Producing Energy to Generate Small-Scale Electricity. Int'l Conference on Artificial Intelligence, Energy and Manufacturing Engineering (ICAEME'2014)," 2014.
- [23] I. L. Motta, N. T. Miranda, R. M. Filho, M. Regina, and W. Maciel, "Biomass gasi fication in fl uidized beds: A review of biomass moisture content and operating pressure e ff ects," vol. 94, no.

- June, pp. 998–1023, 2018.
- [24] Prabir Basu, *Design of Biomass Gasifiers. Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction*. Elsevier, 2013.

Técnicas de caracterização de uma liga de Níquel-Titânio com memória de forma

Carlos Alberto Rodrigues Andrade, Filipe de Almeida da Silva Soares, Glauco Tapijara Vallicelli

Nobrega, Jean César Hilário, Luiz Alberto dos Santos

Carlos Alberto Rodrigues Andrade
Professor Adjunto
ESTiG – Instituto Politécnico de
Bragança
Bragança, Portugal
andrade@ipb.pt

Filipe de Almeida da Silva Soares
Aluno de Mestrado
ESTiG – Instituto Politécnico de
Bragança
Bragança, Portugal
a38199@alunos.ipb.pt

Glauco Tapijara Vallicelli Nobrega
Aluno de Mestrado
ESTiG – Instituto Politécnico de
Bragança
Bragança, Portugal
a38196@alunos.ipb.pt

Jean César Hilário
Aluno de Mestrado
ESTiG – Instituto Politécnico de
Bragança
Bragança, Portugal
a39513@alunos.ipb.pt

Luiz Alberto dos Santos
Professor EBTT
CEFET-RJ
Angra dos Reis, Brasil
luiz.alberto@cefet-rj.br

Abstract - This paper presents a study about some characterization processes of metallic alloys, more specifically shape memory alloys composed by Nickel and Titanium. For the study, the wires were obtained by two different suppliers. Initially, a metallographic analysis was performed where the contours of the grain of the wires could be observed. Differential scanning calorimetry (DSC) testing was also performed to obtain the phase transformation temperatures of NiTi alloys. Finally, after tensile tests, results were obtained for stresses, elasticity modules and maximum rupture deformation.

Keywords— Shape memory alloy, NiTiInol, characterization processes

Resumo – Este artigo apresenta um estudo sobre alguns processos de caracterização de ligas metálicas, mais especificamente ligas de memória de forma compostas por Níquel e Titânio. Para este estudo, os fios foram obtidos de dois fornecedores diferentes. Inicialmente, uma análise metalográfica foi realizada onde os contornos de grão foram observados. O teste de Varredura diferencial de calorimetria (DSC) foi realizado obtendo a temperatura de transformação de fase da liga NiTi. Finalmente, após os testes de tensão, foram obtidas as tensões, módulos de elasticidades e deformação máxima de ruptura.

Palavras-chave— Liga de memória de forma, NiTiInol, processo de caracterização

I. INTRODUÇÃO

Embora a primeira liga de memória de forma (LMF) tenha sido descoberta em 1932 por Arne ölander [1], a liga equiatômica de Níquel e Titânio amplamente conhecida sob o nome de NiTiInol foi descoberta apenas em 1960 por Buheler e Wiley no *Naval Ordnance Laboratory* (responsável pelo sufixo “inol” presente no nome da liga) [1]–[3]. O objetivo dos criadores do NiTiInol era possibilitar a fabricação do cone de nariz de um míssil naval que fosse resistente ao impacto e à fadiga, apresentando baixa densidade e grande resistência térmica, mas sem perder as propriedades elétricas e magnéticas da liga Ni-Cu [3].

O NiTiInol mostrou-se o mais vantajoso de entre as ligas com memória de forma conhecidas, recebendo grande atenção

da comunidade científica (bem como *designers* industriais e de produtos) nas últimas décadas, principalmente nos campos da medicina e biomedicina devido à resistência à corrosão, a biocompatibilidade, o efeito memória de forma e a superelasticidade [4].

A liga equiatômica de NiTi apresenta até 8% de recuperação de forma [5] entre temperaturas de -50 °C a 110 °C, tendo ainda preço muito inferior a outras LMF, uma vez que é comum estas possuírem ouro, prata e platina nas suas composições, encarecendo as mesmas [2].

Atualmente a liga vem sendo utilizada e recebe um grande investimento na indústria automóvel, aeroespacial e até mesmo na engenharia civil, como agentes de controle ativo, semi-ativo e passivo em estruturas sujeitas a vibrações, em sistemas de automação e controle como atuadores, acoplamentos de dispositivos elétricos, magnéticos, antenas de satélites e abas de ar-condicionado [1], [2], [4].

Na área da saúde é comum encontrar a liga em implantes ortodônticos e *stents*, sendo também aplicados na ortopedia e radiologia intervencionista [1]–[3]. O seu uso é tão difundido nesta área graças a propriedades como a memória de forma, resistência à fadiga, resistência à torção, capacidade de alongamento elástico, comportamento tensão-deformação semelhante aos ossos e tendões, acrescida com a sua biocompatibilidade superior à do aço inox (considerando que o módulo de elasticidade do NiTiInol é mais próximo ao do osso) e também à do Ti-6Al-4V, podendo ser mais ou menos biocompatível de acordo com o processo de fabricação [3].

Uma das grandes vantagens do NiTiInol é a possibilidade de ajustar as suas propriedades de acordo com sua composição química e realizar tratamentos térmicos e/ou mecânicos. O material tem a capacidade de alterar entre a fase austenítica e a fase martensítica sem que exista um processo de difusão, permitindo assim o retorno à geometria inicial, mesmo após considerável deformação, quando submetido a determinada temperatura, sendo este efeito chamado de memória de forma [1], [3], [4]. Enquanto a capacidade de resistir a grandes tensões, sendo totalmente recuperável, é chamada de

superelasticidade, sendo estas duas características o grande diferencial do NiTiInol [3], [4], [6].

Existe ainda a possibilidade de um duplo efeito de memória de forma. Para obtê-lo, é necessário “trabalhar a liga” conhecido como *training* que dá-se introduzindo tensões residuais ao material por meio de esforços mecânicos repetitivos. Isto permite que ele assuma uma forma a frio e outra a quente. O excess de *training* da LMF, porém, acarreta em degradação da tensão, porção ou na dobra [1].

As temperaturas de transformação em ligas comerciais costumam estar na faixa entre $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, com histerese variando entre 30 K e 50 K, com um erro de temperatura de $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, que corresponde a um diferença de $\pm 0,05\%$ na composição da liga [3]. O mercado global de materiais inteligentes movimentou cerca de USD 19,6 bilhões em 2010, sendo prevista uma taxa anual de crescimento de 12,8 % até 2016, com um número de patentes registradas no mundo superior a 20.000 [1].

A utilização do NiTiInol gerou uma verdadeira revolução em muitos setores industriais, como molas de taxa termovariável usadas para controlar a abertura de portas de forno autolimpantes e também para trocas de velocidade nas transmissões automáticas dos veículos da Mercedes-Benz®, ou ainda em aplicações aeroespaciais como amortecedores de vibrações, mecanismos de liberação ou implantação, estruturas infláveis, asas inteligentes, no *chevron* de aviões para diminuir o ruído durante a descolagem, maximizando a deflexão do *chevron* e aumentando a eficiência de cruzeiro a partir da minimização da deflexão do *chevron*. São estudadas ainda aplicações de ligas com memória de forma em sistemas de asa telescópica, *morphing* de extensão da asa, trem de aterragem e até mesmo na estrutura [1].

Os principais limitadores da fabricação do NiTiInol são a dificuldade para maquinar e unir o material, tendo em vista que processos de soldadura são muito suscetíveis a contaminação química e podem acabar por realizar um tratamento térmico indesejado no material, sendo preferível a soldadura a LASER que acaba por dificultar a sua utilização na construção civil [1], [4]. Outros pontos críticos do material são sua baixa resistência à fadiga e dificuldade de estabilidade, tensão elástica relativamente pequena, baixa frequência de atuação, baixa capacidade de controle, são pouco precisas, apresenta baixa eficiência energética e dificuldade de dissipar calor [1].

II. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A. Descrição dos materiais

No presente trabalho foram analisadas duas ligas de NiTi adquiridas em diferentes laboratórios: a primeira do fornecedor 1 – NitinolXY, com diâmetro de 0,5 mm, temperatura A_f de $-10 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e tendo, de acordo com o fornecedor, 56,08 % de Ni na sua composição química, conforme Tabela 1. O segundo material analisado foi proveniente do fornecedor 2 - Kelloggs Research Laboratories™, possuindo um diâmetro de 2 mm e temperatura A_f de $20 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabela 1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA LIGA NiTi

Elemento	Presença na liga (%)
Níquel	56,08

Elemento	Presença na liga (%)
Titânio	43,831
Carbono	0,042
Nitrogênio	0,005
Hidrogênio	0,001
Oxigênio	0,041

Para determinar as propriedades metalúrgicas, físicas e químicas do material foram realizadas análises metalográficas, ensaios de tração, varrimento diferencial de calorimetria e determinação da composição através da digestão do material.

B. Preparação Metalográfica

Para realizar a análise metalográfica foi necessário realizar o encapsulamento da amostra em material transparente, pois havia o risco do provete alterar a posição durante o encapsulamento devido à pequena dimensão da secção transversal do fio, caso fosse realizado em material opaco esta alteração na posição desejada seria notada somente durante o processo de abrasão. Portanto utilizou-se a resina de acrílico transparente Clarofest 572. O processo de encapsulamento foi realizado mantendo-se uma temperatura de $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ com pressão constante de 35 kN durante um período de 4 minutos seguido por um arrefecimento realizado na própria máquina com um caudal mínimo de água durante 6 minutos.

As amostras embutidas foram classificadas de três formas diferentes: “A” e “B” são do fornecedor 1, onde a primeira não sofreu deformação plástica enquanto que a segunda sim; “C” é do fornecedor 2 e não sofreu deformação plástica.

As lixas utilizadas em ordem crescente de granulação foram: 180, 240, 320, 600, 1000 e 1200, tentando obter-se uma superfície espelhada [2]. Após a utilização das lixas, as amostras foram submetidas ao polimento mecânico com sílica coloidal amorfa. Nas etapas de lixa e polimento, é importante garantir que a amostra não ultrapasse a temperatura de recristalização [7].

O ataque químico utilizado para revelar o contorno de grãos do material deu-se através da aplicação sobre a liga NiTi de uma solução contendo ácido nítrico com ácido fluorídrico (proporção de 5:1) por um período de 2 a 3 minutos em temperatura ambiente.

Para visualizar o contorno de grão das amostras foi utilizado um microscópio ótico com capacidade de ampliação de 10x e 50x, com uma câmera digital acoplada.

III. PREPARAÇÃO PARA VARRIMENTO DIFERENCIAL DE CALORIMETRIA

A ASTM [8] define normas para os testes DSC (*differential scanning calorimeter*) para ligas de NiTi livres de tensões residuais, que tenham um peso nominal de níquel entre 54,5 % à 57%.

O teste pretende obter as temperaturas características de transformação entre as fases da liga. O resultado registra dois picos: um endotérmico na mudança de fase durante o aquecimento e um exotérmico durante a mudança de fase no arrefecimento, uma vez que a transformação sólido-sólido ocorre quanto se tem a alteração da estrutura cristalina a partir

do aquecimento ou arrefecimento do material. Esta transformação é caracterizada por um calor latente, tornando possível a identificação através de um teste DSC [9].

Para que o teste tenha a melhor confiabilidade possível, o ideal é que a amostra seja aquecida a pelo menos 30 °C acima da A_f e arrefecida a pelo menos -30 °C abaixo de M_f , utilizando-se um cadinho de alumínio para o teste [8].

Resultados obtidos seguindo a norma ASTM F2004 demonstram que a transição apresentada pelo NiTiNol possui característica reversível e histerética. A magnitude da histerese pode ser relatada como a diferença entre os picos da transformação de austenite e martensite [9].

Para que o teste seja realizado com sucesso é importante a certificação que o corte da amostra não cause deformações ou aquecimentos localizados, evitar que exista grande oxidação durante o tratamento térmico que pode acarretar em mudanças no teste, além de utilizar uma taxa de aquecimento e arrefecimento adequada, sendo estabelecido um valor de 10 °C/min pela norma F2004-17 [8]. Slough [9], porém, demonstrou-se que ao variar a taxa de aquecimento e arrefecimento não se nota grande diferença nas regiões de transição e que quanto maior a taxa, maiores são os picos de transformação de fase, embora taxas inferiores não comprometam os resultados. Pretendendo a melhor representação, utilizou-se uma taxa de 20 °C/min nos testes realizados no presente trabalho.

Para o teste, devem ser utilizadas amostras entre 25 e 45 mg, recozidas a uma temperatura entre 800 e 850 °C durante um período de 15 a 60 minutos em forno a vácuo ou ambiente inerte, sendo arrefecido rapidamente. É importante não permitir que haja uma grande camada de óxido nas amostras [8].

Uma porção de 87,01 mg da amostra do fornecedor 1 foi tratada a 850 °C por 15 minutos a uma pressão atmosférica de -0,7 bar e foi arrefecida em água. A amostra do fornecedor 2 tinha um valor de massa de 40,85 mg e foi tratada à mesma temperatura por um tempo de 20 minutos a uma pressão de -0,2 bar, sendo arrefecida ao ar.

Verificou-se que mesmo sob vácuo, ambas as amostras apresentavam a superfície oxidada. Como grandes camadas de óxido podem resultar em alterações no DSC, foi necessário a realização do polimento destas. Logo, realizou-se o polimento químico com a mesma solução utilizada para o processo de ataque químico durante a preparação metalográfica, ou seja, ácido nítrico e ácido fluorídrico na proporção de 5:1.

As amostras foram colocadas em tubos de centrifugação com a adição de pouco mais de 1,5 ml da solução por um período de 1:30 h, sendo agitadas eventualmente ao longo do polimento. Notou-se uma considerável remoção do óxido e a solução apresentou um tom esverdeado em ambos os casos. A massa da amostra do fornecedor 1 reduziu 9,65 % e a do fornecedor 2 apresentou uma redução de 10,01 %.

O ensaio de DSC foi realizado abrangendo uma faixa de temperatura entre -70 °C e 100 °C, sendo esta uma região onde é seguro a realização do teste com o cadinho de alumínio e que coincide com a faixa na qual as mudanças de fase geralmente estão presentes em ligas comerciais [3].

As amostras utilizadas no DSC dos fornecedores 1 e 2 continham respectivamente 38,33 mg e 36,76 mg. O histórico da mudança de temperatura para uma variação de temperatura

fixa de 20 °C/min deu-se da seguinte forma: o material iniciou-se a temperatura ambiente de 25 °C e foi aquecido a 100 °C, seguido de um arrefecimento até -100 °C, passando novamente por um aquecimento até 100 °C, sendo então arrefecida a 20 °C para que pudesse ser retirada do equipamento.

IV. ENSAIO DE TRAÇÃO

O ensaio de tração consiste em submeter um provete com geometria definida por normas, nacionais e internacionais, a um esforço crescente na direção axial, levando-o à fratura. Os principais dados de saída são encontrados na forma de um diagrama força-deslocamento, onde aplicando-se o pós-processamento, corresponde a um diagrama tensão-deformação [10].

Além dos ensaios de tração para ruptura do provete, existe a possibilidade da realização de ensaios de característica cíclica, onde o material é sujeito a um carregamento e descarregamento contínuo. Ambos os tipos de ensaio de tração são essenciais para caracterização das propriedades das ligas com memória de forma, onde o primeiro descrito fornece dados como a tensão e a deformação máximas na ruptura e os módulos de elasticidade das fases austenite e martensite e o outro tipo de ensaio é responsável por apresentar as tensões características de transformação da liga, bem como a deformação máxima de transformação.

O provete consiste em um fio de Níquel-Titânio com diâmetro de 0,5 mm e comprimento de 50 mm. Para ambos os ensaios a taxa de aplicação do deslocamento para o carregamento foi de 0,5 mm/min. Sendo o ensaio de ruptura realizado até que o provete apresente uma falha, não é necessário parâmetros extra, entretanto para o ensaio cíclico configurou-se uma taxa de 0,5 N/s para o deslocamento, com uma pré-carga de 10 N de forma a deixar o provete esticado e uma quantidade de 20 ciclos.

V. RESULTADOS

A. Metalografia

Os resultados obtidos através da análise metalográfica são capazes de determinar o contorno de grão, não sendo possível a determinação das fases presentes na microestrutura. A Figura 1 apresenta a comparação dos resultados das amostras “A” e “B”, sendo possível observar que, embora uma das amostras tenha sofrido deformação plástica e a outra não, os grãos não apresentaram diferenças notáveis nas suas geometrias.

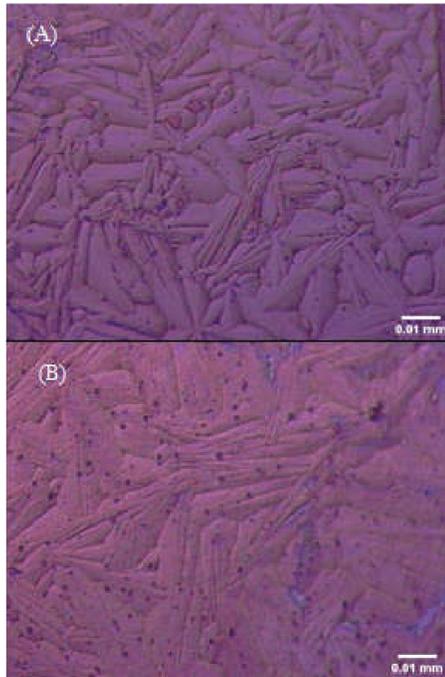


Fig. 1. a) Contornos de grão da amostra "A"; b) Contornos de grão da amostra "B". ampliação de 50x.

A amostra do fornecedor 2, observada na Figura 2, não apresentou grande diferença em relação à geometria e tamanho de grão em relação as amostras do outro fornecedor, mediante a análise qualitativa realizada.



Fig. 2. Contornos de grão da amostra "C". ampliação de 50x.

B. DSC

Os resultados do DSC para a amostra do fornecedor 1, apresentados no diagrama da Figura 3, demonstrou que a temperatura de transição indicada pelo fornecedor foi encontrada. A temperatura final da transformação austenítica foi de $-11,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, dentro da margem entre $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ indicada pelo fabricante.

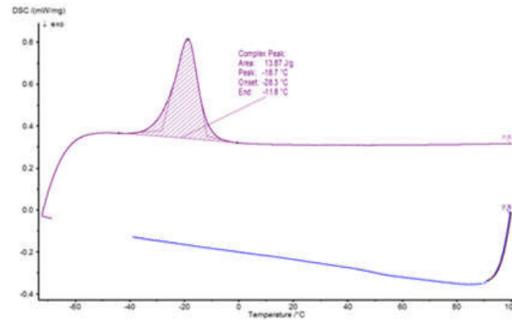


Fig. 3. Resultado do DSC para amostra do fornecedor 1

O resultado do DSC para a amostra do fornecedor 2, apresentado na Figura 4, não foi conclusivo. A dificuldade de se preencher a superfície do cadinho de alumínio com um quantidade menor que 45 mg do material podem ter contribuído, uma vez que os pedaços do material utilizado eram bem superiores ao do outro fornecedor devido principalmente à diferença de diâmetros que dificulta o corte. Eventuais mudanças na temperatura de transformação durante o tratamento para a retirada de tensões não são descartadas.

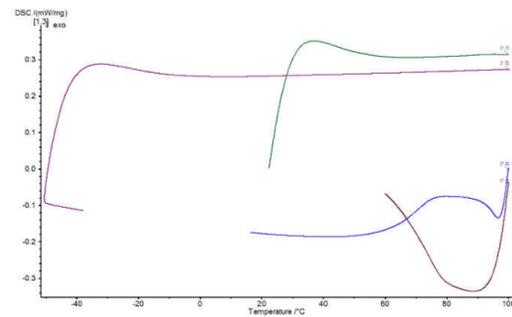


Fig. 4. Resultado do DSC para amostra do fornecedor 2.

C. Ensaio de tração ruptura

O diagrama tensão-deformação obtido pelo ensaio de ruptura é apresentado na Figura 5, sendo os dados mencionados na seção IV descritos na Tabela 2.

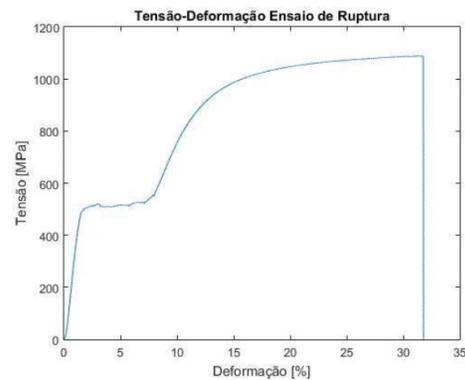


Fig. 5. Diagrama Tensão-Deformação do ensaio de ruptura para amostra do fornecedor 1.

Tabela 2 PROPRIEDADES OBTIDAS PELO ENSAIO DE TRAÇÃO-RUTURA

Propriedades	Valor
Tensão de Ruptura	1088.6 MPa
Deformação Máxima na Ruptura	31.17 %
Módulo de Elasticidade – Austenite	39.03 MPa
Módulo de Elasticidade – Martensite	10.04 MPa

D. Ensaio de tração cíclico

Para o ensaio cíclico, o diagrama obtido encontra-se na Figura 5, sendo os dados mencionados na seção IV descritos na Tabela 3.

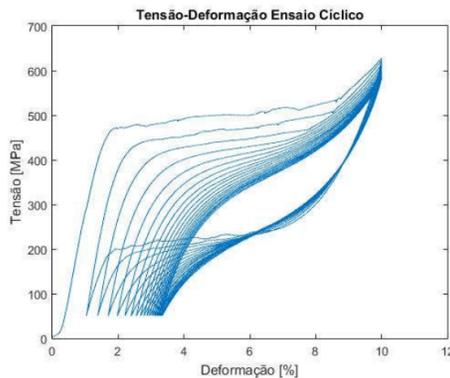


Fig. 6. Diagrama Tensão-Deformação do ensaio cíclico para amostra do fornecedor 1.

Tabela 3 PROPRIEDADES OBTIDAS PELO ENSAIO DE TRAÇÃO-RUPURA

Propriedades Características da Liga	Tensão em MPa
Tensão inicial – Transformação direta	464.4
Tensão final – Transformação direta	536.8
Tensão inicial – Transformação inversa	261.8
Tensão final – Transformação inversa	190.8

CONCLUSÕES

- Caracterização mecânica através dos ensaios de tração foi conseguida, uma vez que se obteve os dados de tensão características e módulos de elasticidade;
- Caracterização térmica apresentou resultados parcialmente completos, devido às limitações do equipamento para temperaturas inferiores a -50 °C, obtendo somente as temperaturas de transição Af e As;
- Uma vez que os resultados foram obtidos através do DSC conclui-se que as técnicas e medidas metalográficas bem como o tratamento do material segundo a norma podem ser padronizados para futuros experiências;
- Os grãos não apresentaram diferenças consideráveis na sua geometria quando submetidos a deformação plástica;

- As tensões características da liga do fornecedor 1 foram obtidas com sucesso;
- Trabalhos futuros serão realizados de forma a obter os parâmetros cíclicos do material, uma vez que se observou que as tensões características se alteram ao longo dos ciclos e há uma deformação residual;
- Estudos futuros serão realizados com materiais onde as temperaturas de transição são superiores a 0° C de forma a obter todas as temperaturas características e relacionar com as tensões de transformação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos profissionais dos laboratórios de Química Analítica (na pessoa da Eng.^a Paula Marina) e Estruturas e Resistência dos Materiais (na pessoa da Eng.^a Luisa Barreto).

REFERÊNCIAS

- [1] J. M. Jani, M. Leary, A. Subic, and M. A. Gibson, "A review of shape memory alloy research, applications and opportunities," *Mater. Des.*, vol. 56, pp. 1078–1113, 2014.
- [2] A. J. A. do Lago *et al.*, "Caracterização de ligas NiTi com efeito de memória de forma," *Rev. Mil. Ciência e Tecnol.*, vol. 33, no. 2, pp. 93–95, 2016.
- [3] J. W. Mwangi, L. T. Nguyen, V. D. Bui, T. Berger, H. Zeidler, and A. Schubert, "Nitinol manufacturing and micromachining: A review of processes and their suitability in processing medical-grade nitinol," *J. Manuf. Process.*, vol. 38, pp. 355–369, 2019.
- [4] S. Datta, M. S. Raza, P. Saha, and D. K. Pratihari, "Effects of Line Energy on Mechanical Properties, Corrosion and Shape Memory Behavior of Laser-Welded NiTi Joints," *ASME 2018 13th International Manufacturing Science and Engineering Conference MSEC2018*. College Station, TX, EUA, p. 9, 2018.
- [5] K. D. Jonnalagadda, G. E. Kline, and N. R. Sottos, "Local Displacements and Load Transfer of Shape Memory Alloys in Polymeric Matrices," *Exp Mech*, vol. 37, no. 1, pp. 78–86, 1997.
- [6] W. Chang and Y. Araki, "Use of shape-memory alloys in construction: a critical review," *Inst. Civ. Eng.*, pp. 1–9, 2016.
- [7] M. C. M. Rodrigues, "Efeito do treinamento por ciclagem pseudoelástica nas propriedades mecânicas e funcionais de uma liga níquel-titânio," Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.
- [8] ASTM, "Standard Test Method for Transformation Temperature of Nickel-Titanium Alloys by Thermal Analysis," *October*. p. 5, 2004.
- [9] C. G. Slough, "A Study of the Nitinol Solid-Solid Transition by DSC," *TA Instruments*. pp. 1–5, 2007.
- [10] C. O. F. T. Ruckert, "Ensaio Mecânico dos Materiais," *e Disciplinas Usp*, 2017.

A Situação da Formação em Engenharia de Energia: Uma Política Pública para o Setor Energético Brasileiro

Gisele Maria Vieira, Nival Nunes Almeida, Ronney Arismel Mancebo Boly, Stella Maris Pires Domingues

Gisele Maria Ribeiro Vieira
Depto. de Engenharia Mecânica
CEFET/RJ Campus Maracanã
 Rio de Janeiro, Brasil
 gisele.vieira@cefet-rj.br

Nival Nunes Almeida
Programa de Pós-graduação em
Estudos Marítimos
Escola de Guerra Naval
da Marinha do Brasil-EGN
 Rio de Janeiro, Brasil
 nivalnunes@yahoo.com.br

Ronney Arismel Mancebo Boly
Programa de Pós-graduação em
Engenharia de Produção e Sistemas
CEFET/RJ Campus Maracanã
 Rio de Janeiro, Brasil
 ronney.boly@cefet-rj.br

Stella Maris Pires Domingues
Depto. de Engenharia Mecânica
Universidade Federal Fluminense-UFF
 Rio de Janeiro, Brasil
 stella@vm.uff.br

Resumo—O poder público tem procurando promover o uso racional de energia em diversos setores e formulado políticas nacionais para aumentar a geração de energia por meio de fontes renováveis e evitar o risco de uma escassez de energia. A formação de profissionais que possam contribuir neste processo torna-se imprescindível. Diante disso, este trabalho apresenta uma análise da situação atual dos cursos de graduação em engenharia de energia. Essa temática tem sido foco de debates na academia e no sistema profissional, uma vez que o curso representa uma habilitação recente tanto para a avaliação educacional quanto para a atribuição profissional. Além disso, essa área de formação técnico-científica é iminentemente transdisciplinar e o setor de energia vem demandando um crescente número de profissionais habilitados a pesquisar, desenvolver e atuar em empreendimentos e serviços de engenharia. Assim sendo, foram encontrados diversos tipos de cursos com características específicas que tornam o processo avaliativo, pelo sistema educacional, peculiar, bem como o sistema profissional tem dificuldades na questão de atribuição profissional.

Palavras-chave—engenharia de energia, energias renováveis, políticas públicas.

I. INTRODUÇÃO

Há pelo menos duas décadas, o Brasil possui programas de energia reconhecidos internacionalmente: o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica –PROCEL, o Programa Nacional de Racionalização de uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural –CONPET e o Programa Brasileiro de Etiquetagem –PBE [1]. No entanto, o principal marco legal na área de eficiência energética no Brasil veio com a lei nº10.295/2001, que estabeleceu que o Poder Executivo ficaria responsável por desenvolver mecanismos que promovessem a eficiência energética de máquinas e equipamentos fabricados e comercializados e das edificações construídas no país [2]. Esta lei lançou a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e foi regulamentada pelo Decreto nº4.059/2001 [3]. A Resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica –ANEEL nº482/2012, atualizada pela nº687/2015, também foi um importante marco regulatório na área de energias renováveis e de eficiência energética [4;5]. Esta resolução permitiu a instalação de microgeração e minigeração de energia

elétrica, principalmente de fontes renováveis, junto ao próprio ponto de consumo de energia e criou o sistema de compensação de energia elétrica. Apesar da Resolução nº482 derrubar grandes barreiras no que tange à geração própria de energia, permitindo que o consumidor instale pequenos geradores (como painéis solares fotovoltaicos e microturbinas eólicas, entre outros) em sua unidade consumidora e troque energia com a distribuidora local, visando reduzir o valor da sua fatura de energia elétrica, não foi o suficiente para promover a adoção deste sistema de geração na iniciativa privada. Com a publicação da Resolução nº687 da ANEEL, que ampliou as possibilidades de geração de energia fotovoltaica e facilitou o processo de conexão destes sistemas à rede de energia das concessionárias, foi que a geração distribuída ganhou força em todo o país. Entre os planos nacionais mais relevantes para apoiar o planejamento e execução de medidas de conservação de energia estão o Plano Nacional de Energia 2030 –PNE 2030 e o Plano Nacional de Eficiência Energética –PNEf [1]. No PNE 2030 é apresentado o potencial de aplicação de medidas de eficiência energética no país, para diferentes cenários macroeconômicos. O PNEf descreve ações diversas que podem ser desenvolvidas para aumentar a conservação de energia nos setores industrial, transportes, edificações, iluminação pública, saneamento, educação, entre outros.

Segundo o relatório “Transformação Energética Global: Um Roteiro para 2050” da Agência Internacional de Energia Renovável –IRENA, as energias renováveis irão compor 85% da matriz energética global até 2050 [6]. Portanto, será preciso aumentar em pelo menos seis vezes a agilidade na adoção das fontes limpas para reduzir as emissões de carbono. Este crescimento virá com destaque para geração solar e eólica. O estudo também concluiu que 30% a mais de investimentos em energia limpa e eficiência energética até 2050 podem criar mais de 19 milhões de empregos na área. Este número superaria as perdas no segmento de combustíveis fósseis, que teriam 7,4 milhões de vagas suprimidas com a transformação. Desta forma, haveria um saldo positivo de 11,6 milhões de novos empregos em energia renovável, eficiência energética e melhoria da rede

flexibilidade energética. A evolução de vagas de emprego, no período de 2012-2018, relacionadas à energia renovável por tecnologia pode ser observada na Fig. 1, extraída do relatório anual de 2019 da IRENA sobre energia renovável e empregos [7]. Foram consideradas a energia solar fotovoltaica, bioenergia, energia eólica, aquecimento e refrigeração por energia térmica solar, energia hidrelétrica e outras tecnologias. Em bioenergia estão incluídos os combustíveis líquidos, biomassa sólida e biogás. Outras tecnologias compreendem energia geotérmica, energia solar térmica concentrada, bombas de calor geotérmicas, resíduos urbanos e industriais e energia dos oceanos.



Fig. 1. Evolução das vagas de emprego na área de energias renováveis por tecnologia. Fonte: IRENA, 2019 [7].

A Fig. 2 mostra que, em 2018, a maior parte dos empregos se concentrava na China, União Europeia, Brasil, Estados Unidos e Índia.



Fig. 2. Vagas de emprego, em 2018, na área de energias renováveis, por países selecionados. Fonte: IRENA, 2019 [7].

O relatório da IRENA destaca o Brasil como o mais importante empregador mundial na área de biocombustíveis (etanol e biodiesel), em 2018, com 832.000 empregos nesta área. O país também tem atuação significativa nas áreas de aquecimento solar de água com 41.000 empregos, de energia solar fotovoltaica com 15.600 empregos e de energia eólica com 24.000 empregos [7].

A necessidade de mão-de-obra qualificada para atuar nesse novo mercado, torna-se cada vez mais evidente. Para contribuir na formação desses profissionais e auxiliar na garantia dos benefícios que estas novas tecnologias podem trazer para a sociedade e para o país, o Ministério da Educação –MEC, por meio da Secretaria de Educação

Profissional e Tecnológica –SETEC, lançou o Programa para Desenvolvimento em Energias Renováveis e Eficiência Energética – ENERGIIF, em parceria com a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, denominado Profissionais para Energias do Futuro [8]. Essa parceria, datada de 2016, tem o objetivo de ajudar a estruturar as bases da educação profissional na Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica (Rede Federal) de EPCT nas áreas de energias renováveis e eficiência energética. No ano seguinte, a SETEC fechou parceria com o Núcleo de P&D para Excelência e Transformação do Setor Público (NEXT), do Departamento de Administração da Universidade de Brasília. O ENERGIIF conta hoje com cinco linhas de ação para fomentar o tema na Rede Federal: infraestrutura; formação profissional; pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) e empreendedorismo; gestão de energia; e engajamento e difusão. Na linha de ação formação profissional, foram criados itinerários formativos nas áreas de Energia Solar, Energia Eólica, Biogás e Eficiência Energética para atendimento das demandas de profissionais para o setor, possibilitando a formação de especialistas nas respectivas áreas. Para atuar nesse novo mercado, complementando esse quadro, veio a demanda por profissionais de nível superior, com novas habilidades e conhecimentos. Nesse sentido, foi criado um curso de engenharia de energia. Embora este primeiro curso tenha sido criado em 2003, pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul -UERGS, com o título de Engenharia de Energias e Desenvolvimento Sustentável, somente em 2016, por meio da Resolução nº1076/2016, o Conselho Federal de Engenharia e Agronomia -CONFEA tornou oficial as atribuições do engenheiro de energia [9].

II. FORMAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

A. Distribuição dos Cursos

Atualmente, segundo a plataforma e-MEC, onde todos os cursos superiores do país estão cadastrados, há 35 cursos superiores em engenharia de energia/engenharia de energias renováveis. Conforme ilustrado na Tabela I, destes 35 cursos, 21 são ofertados por instituições de educação superior públicas, sendo 14 ofertados por instituições privadas.

TABELA I. CURSOS DE ENG. DE ENERGIA POR TIPO DE INSTITUIÇÃO

Cursos de Engenharia de Energia			
Região	Instituição Pública	Instituição Privada	Total
	UF (Nº de Cursos)		
Nordeste	AL (1); PE(1); RN(2); BA(2); CE(2); PB(1)	BA(1)	10
Sudeste	MG(1); SP(3)	MG(2); SP(5)	11
Sul	RS(3); SC(1); PR(2)	RS(2); PR(4)	12
Centro-Oeste	DF(1); MS(1)	-	2
Norte	-	-	-
Total:	21	14	35

A Tabela II mostra como estes cursos estão distribuídos com relação a organização acadêmica. Observa-se que 23

curso são ofertados por Universidades, 2 por Faculdades, 3 por Institutos Federais e 2 por Centros Universitários.

TABELA II. CURSOS DE ENG. DE ENERGIA POR ORG. ACADÊMICA

Cursos de Engenharia de Energia			
Universidades	Faculdades	Institutos Federais	Centros Universitários
23	2	3	7
Total:		35	

A Tabela III apresenta a distribuição dos cursos de engenharia de energia por Região, Estado, Unidade da Federação –UF, e Instituição. Há 10 cursos no nordeste, 11 no sudeste, 12 no sul e 2 no centro-oeste. Vale notar que não há cursos de engenharia de energia ainda na região norte. A tabela também indica os conceitos de curso (CC) obtidos nas avaliações realizadas por avaliadores do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira –INEP/MEC. Tais especialistas fazem parte do Banco de Avaliadores do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior –BASIS.

TABELA III. CURSOS DE ENG. DE ENERGIA POR ESTADO E INSTITUIÇÃO

Cursos de Engenharia de Energia			
			
UF	Nº	Instituições	CC
Região Nordeste: 10			
AL	1	UFAL	4
BA	3	IFBA; UNIJORGE; UFRB	- - -
CE	2	UNILAB; UFC	5 3
MA	-	-	-
PB	1	UFPB	3
PE	1	UFPE	4
PI	-	-	-
RN	2	UFERSA; IFRN	4 -
SE	-	-	-
Região Sudeste: 11			
ES	-	-	-
MG	3	PUC-Minas; UNIFEI; UNIFIPMoc	5 4 4
RJ	-	-	-
SP	8	UNESP; FMU; CUFA;	- - -
		FARO; UFABC; UNITAU;	4 4 -
		UNISALESIANO; IFSP	- - -
Região Sul: 12			
PR	6	UNILA; UP; UNIAMÉRICA;	4 - -
		UNIAMÉRICA; SENAI; UFPR	- 4 5
RS	5	UNISINÓS; UNISINOS; UFRGS;	4 - 4
		UERGS; UNIPAMPA	- - 4
SC	1	UFSC	4
Região Centro-Oeste: 2			
MS	1	UFGD	5
DF	1	UNB	4
GO	-	-	-
MT	-	-	-
Região Norte: -			
-	-	-	-
Total:		35	

Dos 35 cursos existentes, 9 ainda não haviam iniciado suas atividades em 2019/1. São eles: IFBA(1); UNIJORGE(1); UFRB(1); FARO(1), UNISALESIANO(1), UNIAMÉRICA(2); SENAI(1); UNISINOS(1). Há dois cursos a distância, um ofertado na UNIAMÉRICA e outro na UNISINOS, sendo os 33 restantes ofertados de forma presencial.

B. Atribuições de um engenheiro de energia

O Conselho Federal de Engenharia e Agronomia, com a Resolução nº 1.076, de 5 de julho de 2016, incluiu o profissional engenheiro de energia na Tabela de Títulos Profissionais do Sistema Confea/Crea e definiu suas atribuições por meio dos seguintes artigos:

Art. 1º Discriminar as atividades e competências profissionais do engenheiro de energia e inserir o respectivo título na Tabela de Títulos Profissionais do Sistema Confea/Crea, para efeito de fiscalização do exercício profissional.

Art. 2º Compete ao engenheiro de energia o desempenho das atividades 1 a 18 do art. 5º, §1º, da Resolução nº 1.073, de 19 de abril de 2016, referentes a geração e conversão de energia, equipamentos, dispositivos e componentes para geração e conversão de energia, gestão em recursos energéticos, eficiência energética e desenvolvimento e aplicação de tecnologias relativas aos processos de transformação, de conversão e de armazenamento de energia.

Art. 3º O engenheiro de energia poderá atuar também no desempenho das atividades 1 a 18 do art. 5º, §1º, da Resolução nº 1.073, de 2016, referentes a transmissão, distribuição, conservação e armazenamento de energia, em função estritamente do enfoque e do projeto pedagógico do curso, a critério da câmara especializada.

Art. 4º As competências do engenheiro de energia são concedidas por esta resolução sem prejuízo dos direitos e prerrogativas conferidos ao engenheiro, ao engenheiro agrônomo, ao geólogo ou engenheiro geólogo, ao geógrafo e ao meteorologista por meio de leis ou normativos específicos.

Art. 5º As atividades e competências profissionais serão concedidas em conformidade com a formação acadêmica do egresso, possibilitadas outras que sejam acrescidas na forma disposta em resolução específica.

Art. 6º O engenheiro de energia integrará o grupo ou categoria Engenharia, modalidade Elétrica.

Parágrafo único. O respectivo título profissional será inserido na Tabela de Títulos Profissionais do Sistema Confea/Crea conforme disposto no *caput* deste artigo e da seguinte forma:

- I - título masculino: Engenheiro de Energia;
- II - título feminino: Engenheira de Energia; e
- III - título abreviado: Eng. Energ.

As atividades 1 a 18 do art. 5º, §1º, da Resolução nº 1.073, de 2016, são [10]:

Atividade 01 – Gestão, supervisão, coordenação, orientação técnica.

Atividade 02 – Coleta de dados, estudo, planejamento, anteprojeto, projeto, detalhamento, dimensionamento e especificação.

Atividade 03 – Estudo de viabilidade técnico-econômica e ambiental.

Atividade 04 – Assistência, assessoria, consultoria.

Atividade 05 – Direção de obra ou serviço técnico.

Atividade 06 – Vistoria, perícia, inspeção, avaliação, monitoramento, laudo, parecer técnico, auditoria, arbitragem.

Atividade 07 – Desempenho de cargo ou função técnica.

Atividade 08 – Treinamento, ensino, pesquisa, desenvolvimento, análise, experimentação, ensaio, divulgação técnica, extensão.

Atividade 09 – Elaboração de orçamento.

Atividade 10 – Padronização, mensuração, controle de qualidade.

Atividade 11 – Execução de obra ou serviço técnico.

Atividade 12 – Fiscalização de obra ou serviço técnico.

Atividade 13 – Produção técnica e especializada.

Atividade 14 – Condução de serviço técnico.

Atividade 15 – Condução de equipe de produção, fabricação, instalação, montagem, operação, reforma, restauração, reparo ou manutenção.

Atividade 16 – Execução de produção, fabricação, instalação, montagem, operação, reforma, restauração, reparo ou manutenção.

Atividade 17 – Operação, manutenção de equipamento ou instalação.

Atividade 18 – Execução de desenho técnico.

Assim sendo, o engenheiro de energia é um profissional com formação multidisciplinar que atua no planejamento, análise e desenvolvimento de sistemas de geração, transporte, transmissão, distribuição, armazenamento e utilização de energia. É o profissional que lida com todas as formas de energia que compõem a matriz energética brasileira – seja ela renovável, como hídrica, solar, eólica ou de biomassa, seja não renovável, obtida de petróleo, carvão, gás natural ou material radioativo, propondo soluções com baixo impacto ambiental, de modo interdisciplinar.

III. AS NOVAS DIRETRIZES CURRICULARES

As novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) do Curso de Graduação em Engenharia foram homologadas pelo Ministro da Educação e publicadas por meio da Resolução CNE/CES nº2, de 24/4/2019 [11]. O texto aprovado contempla grande parte das sugestões encaminhadas pela Confederação Nacional da Indústria – CNI, pela Associação Brasileira de Educação em Engenharia – ABENGE e pela comunidade acadêmica. Os cursos de engenharia já existentes têm o prazo de três anos para sua implementação das novas normas. As novas DCNs têm como finalidade ajustar a estrutura dos cursos de graduação para formar engenheiros capazes de enfrentar os desafios presentes na manufatura avançada, conhecida como indústria 4.0 [12]. As principais diferenças para o documento anterior, Resolução CNE/CES nº11, de 11/03/2002, estão relacionadas a formação baseada por competências, ao foco na prática, a aprendizagem ativa e a maior flexibilidade na construção do currículo [13].

Com relação a flexibilidade no currículo, deve-se observar que, com as novas DCNs, não há mais obrigatoriedade de seguir uma carga horária mínima para os conteúdos básicos profissionais e específicos. Cada curso poderá adotar a porcentagem que achar mais adequada. Em se tratando da aprendizagem ativa, esta vem com a ideia de

promover uma educação mais centrada o aluno e a autonomia do mesmo. No que tange à parte prática, passam a ser obrigatórias as atividades de laboratório tanto para as competências gerais quanto às específicas. Neste contexto, podem ser usados também laboratórios virtuais, além dos físicos. A formação baseada em conteúdos foi alterada para formação por competências, devendo o conhecimento ser oferecido de forma contextualizada e sempre procurando problemas e situações reais de sua aplicação. As DCNs de Engenharia preveem ainda sistemas de acolhimento e nivelamento estudantil. Tais medidas podem ser realizadas por meio de cursos extracurriculares, acompanhamento psicopedagógico ou de adaptações de metodologias ao perfil do aluno.

De forma geral, pode-se dizer que muitos cursos já estavam preparados para formar esse profissional adequado as novas realidades de mercado, com seus currículos dinâmicos, atrativos, práticos, flexíveis, com práticas inovadoras e focados em inovação. No entanto, para aqueles cursos mais engessados e com aprendizagem centrada no professor, ainda há um longo caminho a percorrer. Ademais, é uma oportunidade para que os cursos de engenharia de energia, recentemente reconhecidos pelo Sistema Confea/Crea, possam desenvolver projetos pedagógicos que promovam o uso racional de recursos energéticos no país e o aumento da geração de energia por fontes renováveis, visando a preservação do meio ambiente e a melhoria da qualidade de vida.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor de energias renováveis junto com o de eficiência energética está em alto crescimento em todo o mundo. Com isso, acontece a geração de empregos específicos na área de energia e a necessidade de profissionais capazes de atuar nesse novo mercado. Os países com maior número de empregos relacionados a energias renováveis em 2018 foram China, membros da União Europeia, Brasil, Estados Unidos e Índia. O aumento crescente da participação de fontes renováveis de geração de energia na matriz energética do Brasil torna imprescindível o incentivo à criação de novos cursos nessa área, tal como o de engenharia de energia, para formar profissionais com novas habilidades e conhecimentos multidisciplinares capazes de enfrentar os desafios econômicos, sociais e tecnológicos, presentes e futuros, em especial na Indústria 4.0, de acordo com as novas diretrizes curriculares do curso de engenharia, em comunhão com as outras habilitações.

REFERÊNCIAS

- [1] Altoé, L. et al, “Políticas públicas de incentivo à eficiência energética”, *Estud. av.* [online], vol.31, n.89, pp.285-297, 2017.
- [2] BRASIL. Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília: *Diário Oficial da União*, 2001.
- [3] BRASIL. Decreto 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei n.10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília: *Diário Oficial da União*, 2001.
- [4] ANEEL. Resolução Normativa 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia

- elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília: *Diário Oficial da União*, 2012.
- [5] ANEEL. Resolução Normativa 687, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa 482, de 17 de abril de 2012. Brasília: *Diário Oficial da União*, 2015.
- [6] IRENA – International Renewable Energy Agency. Global Energy Transformation: A roadmap to 2050. Disponível em: http://aprobio.com.br/novosite/wpcontent/uploads/2018/04/Relatorio_Irena_2018_190418.pdf. Acesso em: 27/07/2019.
- [7] IRENA – International Renewable Energy Agency. Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2019. Disponível em: https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jun/IRENA_RE_Jobs_2019-report.pdf. Acesso em: 27/07/2019.
- [8] BRASIL. Profissionais para Energias do Futuro: Uma Parceria Próspera. Disponível em: <http://www.energif.org/materiais/RevistaProfissionais.pdf>. Acesso em: 27/07/2019.
- [9] CONFEA -Conselho Federal de Engenharia e Agronomia. Resolução 1076, de 5 de julho de 2016. Discrimina as atividades e competências profissionais do engenheiro de energia e insere o título na Tabela de Títulos Profissionais do Sistema Confea/Crea, para efeito de fiscalização do exercício profissional. Brasília: 2016.
- [10] CONFEA -Conselho Federal de Engenharia e Agronomia. Resolução 1073, de 19 de abril de 2016. Regulamenta a atribuição de títulos, atividades, competências e campos de atuação profissionais aos profissionais registrados no Sistema Confea/Crea para efeito de fiscalização do exercício profissional no âmbito da Engenharia e da Agronomia. Brasília: 2016.
- [11] BRASIL. Resolução CNE/CES nº2, de 24/4/2019. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Brasília: *Diário Oficial da União*, 2019.
- [12] Arbix, G. et al, “O Brasil e a Nova Onda de Manufatura Avançada: O que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos”, *Novos estud. CEBRAP* [online], vol.36, n.3, 29-49, 2017.
- [13] BRASIL. Resolução CNE/CES nº11, de 11/03/2002. Institui Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Brasília: *Diário Oficial da União*, 2002. (Revogada pela Resolução CNE/CES nº2, de 24/4/2019).

Análise do Desempenho Energético de um Edifício de Serviços – O Caso do Quartel dos Bombeiros Voluntários de Bragança

Sónia Cova, Orlando Soares, Carlos Andrade

Sónia Cova
Escola Superior de Tecnologia e
Gestão do Instituto Politécnico de
Bragança
Bragança, Portugal
a26676@alunos.ipb.pt

Orlando Soares
Escola Superior de Tecnologia e
Gestão do Instituto Politécnico de
Bragança
Bragança, Portugal
osoares@ipb.pt

Carlos Andrade
Escola Superior de Tecnologia e
Gestão do Instituto Politécnico de
Bragança
Bragança, Portugal
andrade@ipb.pt

Resumo - Atualmente o consumo energético dos edifícios é um tema de elevada importância, pois estes são os principais responsáveis pelo consumo de energia global e assim também pelo aumento da poluição, emissão de gases e aquecimento global. Consequentemente as fontes de energia fósseis escasseiam rapidamente, e o seu período de renovação é lento, não conseguindo acompanhar a constante demanda de suprir as necessidades energéticas. Tornando-se fundamental tomar medidas para reduzir o impacto do consumo global de energia, incitando a uma utilização racional das fontes de energia, promovendo a eficiência energética e o desenvolvimento sustentável.

O presente trabalho tem como principal objetivo a simulação dinâmica de um edifício de serviços, com recurso ao software *DesignBuilder*® para modelação 3D e, o *EnergyPlus*® como plataforma de cálculo. Com estas ferramentas são analisadas soluções na configuração de medidas de melhoria, de forma a aumentar as condições de conforto e permitir uma diminuição nos gastos de energia do edifício.

Para este trabalho foi necessário realizar um levantamento de todos os elementos de envolvente com o exterior, os equipamentos elétricos, sistemas de climatização e de iluminação presentes no edifício, fazendo uma caracterização exaustiva e muito aproximada da realidade do edifício.

Palavras-chave—Eficiência energética, dinâmica de edifícios, *DesignBuilder*®, *EnergyPlus*®

Abstract - Today, the energy consumption of buildings is one of the main pillars of the gas emission and global warming policy. As a result, fossil energy sources are rapidly running out and their renewal period is slow, unable to keep up with the constant demand to meet energy needs. Becoming a key role to reducing the global impact of energy and urging a rational source of energy, promoting energy efficiency and sustainable development.

The present work has as main objective analyzing the energy dynamics of a service building, using

DesignBuilder™ software for 3D modeling and *EnergyPlus*™ as a calculation platform. With these tools solutions are analyzed in the configuration of improvement measures, in order to increase the comfort conditions and allow a decrease in the building energy costs.

For this work, it was necessary to make a survey of all the building envelope elements, the electrical equipment, climate and lighting systems present in the building, making a thorough and very close characterization of the reality of the building.

Keywords - Energy Efficiency, Building Dynamics, *DesignBuilder*™, *EnergyPlus*™

Introdução

Desde a sua origem primitiva que o Homem procura abrigo, como forma de proteção das condições climáticas e dos animais.

Inicialmente encontraram nas grutas a sua proteção, mas com a evolução, a necessidade de construção de abrigos mais sofisticados foi uma inevitabilidade.

As primeiras casas eram então construídas em madeira, terra, pedra ou palha, mas com o passar do tempo e com o avanço do conhecimento progrediu-se para outros tipos de construção que trouxeram impactos negativos para o meio ambiente tanto pela construção em si, como pelos recursos utilizados (energia, água, matérias-primas), e pela produção de resíduos. Foi então necessário reinventar a construção, com o objetivo de diminuir o impacto ambiental, baseado no conceito de “maximizar e reutilizar os recursos, utilizar recursos renováveis e recicláveis, proteger o meio ambiente e fomentar a criação de ambientes saudáveis” [1].

Na União Europeia, o setor dos edifícios representa 40% dos consumos globais de energia. Em Portugal, este setor representa 20% dos consumos de energia, integrando uma parte significativa no consumo global. Torna-se então fundamental, avaliar o desempenho energético dos

edifícios de forma a promover a sua eficiência energética. [2]

Em 2018, a dependência energética que Portugal tinha com o exterior foi cerca de 77%, segundo os dados provisórios da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), tendo descido face ao ano anterior em 2,7%.

I. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A. A Energia

Tudo o que existe no universo é alguma forma de energia. O Sol é uma estrela que fornece energia ao nosso planeta sob a forma de luz e calor. Parte dessa energia é absorvida pelos alimentos e ao ingerir esses alimentos os seres vivos recebem uma parcela dessa energia nos seus corpos e para trocar energia com o meio ambiente. O mesmo acontece com outras fontes de energia como o calor, a eletricidade ou o vento.

É importante o facto de termos consciência de que a energia existe em grande quantidade no universo e que ela não aumenta nem diminui, mas passa por inúmeras transformações, sendo ora uma energia de um tipo ora de outro, e nós seres humanos, conseguimos transformá-la de acordo com as nossas necessidades e interesses. Assim temos a responsabilidade de assegurar que ela não seja desperdiçada e/ou mal utilizada. [3]

B. Eficiência Energética em Edifícios

A utilização de fontes de energia renováveis e soluções técnicas que promovam o desempenho energético dos edifícios, mantendo ou aumentando as condições de conforto térmico e do ar ambiente interior, são fundamentais para atingir os objetivos de redução propostos nas diretivas europeias de consumo de energia em edifícios.

Isto leva a uma mudança de paradigma, neste contexto, a Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2002, estabeleceu um conjunto de medidas e objetivos específicos a serem adotados por cada estado-membro da União Europeia.

Mais recentemente, com a publicação da Diretiva nº. 2018/844/UE do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu, de 30 de maio de 2018, através da reformulação da publicação da Diretiva 2012/27/UE, reformulando a Diretiva UE 2002/91/UE.

Os líderes da UE adotaram uma meta para 2020 de redução de 20% no consumo médio anual de energia e incluíram metas ambiciosas para 2030 e 2050. Prevendo também a construção de novos edifícios como Edifícios com Necessidades de Energia Quase Nulas (NZEBs), a partir de 2020.

No caso de Portugal, um diploma nacional único incorpora o Sistema de Certificação de Energética de Edifícios (SCE), o Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento do

Desempenho Energético de Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

A publicação destas leis pretende levar a uma melhor certificação energética, destacando a metodologia de cálculo e o estabelecimento de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios e para os existentes e para grandes intervenções.

Para grandes edifícios de comércio e serviços existentes, as metodologias para determinar o seu desempenho energético são através de seu consumo efetivo de energia e usando uma simulação dinâmica multizona.

A metodologia baseada em simulação dinâmica multizona é obtida através de um programa acreditado pela norma ASHRAE 140 [4].

C. Simulação dinâmica multizona

Entende-se por simulação dinâmica a previsão de consumos de energia correspondentes ao funcionamento de um edifício e respetivos sistemas energéticos que tome em consideração a evolução de todos os parâmetros relevantes com a precisão adequada, numa base de tempo horária, para diferentes zonas térmicas e condições climáticas de um ano de referência. (Decreto-Lei n.º118/2013, 20 de agosto de 2013)

A análise energética ao edifício em estudo, é baseada no método de simulação dinâmica multizona e deve ser realizada por um programa acreditado pela norma ASHRAE 140, de acordo com o ponto 3.2 do Anexo I da Portaria n.º 349-D/2013, que deve ser capaz de modelar:

- a) Mais do que uma zona térmica;
- b) Com um incremento de tempo horário e por um período de um ano civil, contabilizado em 8760 horas;
- c) A variação horária das cargas internas, diferenciadas em ocupação, iluminação e equipamentos;
- d) Os pontos de ajuste dos termostatos das zonas térmicas e a operação dos sistemas de climatização, permitindo a respetiva parametrização, de forma independente para dias da semana e fins-de-semana;
- e) A recuperação de calor do ar de rejeição;
- f) O efeito da massa térmica do edifício.

II. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

A. Descrição do edifício

O edifício em estudo é o Quartel dos Bombeiros Voluntários de Bragança, localizado no centro da cidade Bragança, a uma altitude de 717 metros, relativamente ao nível médio das águas do mar e, uma distância à costa superior a 5 km.

Trata-se de um edifício com cerca de 40 metros de comprimento, orientados no sentido Oeste-Este e, com 70 metros no sentido Noroeste-Sudeste, sendo que a sua fachada principal está orientada a Noroeste, figura 1.



Figura 1. Fachada principal do edifício

O ano de construção do edifício é entre 1990 e 1991, tendo sido alvo de pequenas remodelações interiores, a nível de camaratas, casas de banho, sala de convívio e bar; sofrendo, nos últimos anos, alterações no sistema de iluminação interior e exterior, colocação de equipamentos de ar condicionado em espaços de grande utilização e colocação de novos vãos envidraçados com melhores características térmicas.

O edifício apresenta a envolvente exterior de cor clara, desenvolvendo-se por dois pisos com a integração vertical a ser realizada com recurso a escadas. Este tem uma área interior de 2716 m², dos quais 340 m² com sistemas de aquecimento e arrefecimento.

B. Zoneamento climático

O zoneamento climático baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, cuja composição por municípios tem por base o Decreto-Lei n.º 85/2008 de 14 de abril, entretanto alterado pelo Decreto-Lei n.º 85/2009, de 3 de abril e pela Lei n.º 21/2010 de 23 de agosto, estando detalhado no Despacho n.º 15793-F/2003.

Como o edifício em estudo se situa em Bragança, corresponde no NUTS III – Alto Trás-os-Montes.

Aplicando as equações (1) (2), e tabelas 1 e 2 presentes no Despacho n.º 15793-F/2003, obtém-se o zoneamento climático do edifício.

$$GD = GD_{ref} + a(z - z_{ref}) \quad (1)$$

Em que GD_{ref} corresponde aos Graus-Dia de referência, na base de 18°C, correspondente à estação convencional de aquecimento, para Alto Trás-os-Montes, 2015°C, a é o declive para ajustes em altitude, 1400 °C/km, z é a altitude do local onde está sito o edifício, 717 m e, z_{ref} é a altitude de referência, 680 m.

Resultando num valor de 2533 °C.

Correspondendo á zona I3, de acordo com a tabela 1.

Tabela 1. Critérios para a determinação da zona climática de inverno

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$GD > 1800$
Zona	I1	I2	I3

$$\theta_{ext,v} = \theta_{ext,vref} + a(z - z_{ref}) \quad (2)$$

Em que $\theta_{ext,vref}$ corresponde à temperatura exterior média de referência, correspondente à estação convencional de arrefecimento, para Alto Trás-os-Montes, 21,5°C, a é o declive para ajustes em altitude, -4 °C/km, z é a altitude do local onde está sito o edifício, 717 m e, z_{ref} é a altitude de referência, 680 m.

Resultando num valor de 20,02 °C.

Correspondendo á zona V2, de acordo com a tabela 2.

Tabela 2. Critérios para a determinação da zona climática de verão

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22^{\circ}\text{C}$	$\theta_{ext,v} > 22^{\circ}\text{C}$
Zona	V1	V2	V3

C. Caracterização dos elementos da envolvente do edifício

A caracterização térmica da envolvente do edifício, nomeadamente dos parâmetros construtivos, coeficiente de transmissão térmica da envolvente, foi realizada de acordo com Despacho n.º 15793-E/2003, regras de simplificação a utilizar nos edifícios sujeitos a grandes intervenções, bem como existentes e, com recurso ao ITE50, para os vãos envidraçados e para a cobertura exterior 2, sendo a única onde foi possível verificar a sua constituição.

Na impossibilidade de ter dados sobre os componentes de paredes, coberturas e pavimentos, utilizaram-se os valores por defeito para este tipo de construção.

Envolvente opaca:

- Parede exterior – com uma espessura de 36 cm e, de acordo com o Quadro II.3, do despacho atrás referido, e, sendo uma parede rebocada, posterior a 1960, paredes simples ou duplas, o coeficiente de transmissão térmica é de 0,96 W/m² °C.
- Cobertura exterior 1 – cobertura pesada horizontal, com um coeficiente de transmissão térmica de 2,6 W/m² °C.
- Cobertura exterior 2 – constituída por placas de fibrocimento, com um coeficiente de condutibilidade térmica de 0,65 W/m °C, resultando num coeficiente de transmissão térmica de 6,436 W/m² °C.
- Pavimento exterior – pavimento pesado, com um coeficiente de transmissão térmica de 3,1 W/m² °C.

Relativamente aos vãos envidraçados foram detetados cinco tipos diferentes. Com recurso a um medidor de espessuras do vidro foi possível verificar as espessuras dos vidros e caixas-de-ar, presentes no vão envidraçado.

- Envidraçado 1 – caixilharia metálica com corte térmico, com vidro duplo incolor 4 a 8 mm + incolor 4 mm, com 10 mm de caixa-de-ar, sem proteção solar. Possui um valor do coeficiente de transmissão térmica de 3,54 W/(m² °C) e fator solar do vidro de 0,78.
- Envidraçado 2 - caixilharia metálica com corte térmico, com vidro duplo incolor 4 a 8mm + incolor 4mm, com 10mm de caixa-de-ar, com proteção solar exterior composta por persiana de régua plásticas de cor escura. Possui um valor do coeficiente de transmissão térmica de 2,62 W/(m² °C) e fator solar com proteção de 0,09.
- Envidraçado 3 - caixilharia metálica com corte térmico, com vidro duplo incolor 4 a 8 mm + incolor 4 mm, com 10 mm de caixa-de-ar, com proteção solar interior composta por cortinas opacas de cor clara. Possui um valor do coeficiente de transmissão térmica de 3,14 W/(m² °C) e fator solar com proteção de 0,385.
- Envidraçado 4 - caixilharia metálica sem corte térmico, giratória, com vidro simples incolor 4mm, sem proteção solar. Possui um valor do coeficiente de transmissão térmica de 6,2 W/(m² °C) e fator solar do vidro de 0,88.
- Envidraçado 5 - caixilharia metálica sem corte térmico, 35% fixo e 65% giratória, com vidro simples incolor 4mm, sem proteção solar. Possui um valor do coeficiente de transmissão térmica de 6,13 W/(m² °C) e fator solar do vidro de 0,88.

D. Sistemas de iluminação

Iluminação interior:

- Lâmpada 1: tipologia LED T8 1,2m 20W
- Lâmpada 2: tipologia LED T8 1,5m 24W
- Lâmpada 3: tipologia LED 12W
- Lâmpada 4: tipologia LED 15W
- Lâmpada 5: tipologia LED 20W
- Lâmpada 6: tipologia Fluorescente Tubular T8 58W

Iluminação exterior:

- Lâmpada 7: tipologia LED 50W
- Lâmpada 8: tipologia LED 150W

E. Sistemas de AVAC e equipamentos

No edifício existem oito sistemas de ar condicionado, para cada uma das unidades foi necessário retirar os seus dados de eficiência para aquecimento e para arrefecimento.

O restante aquecimento dos espaços com mais utilização é feito com recurso a radiadores elétricos, com potências compreendidas entre os 800 e 1500 W.

Relativamente às águas quentes sanitárias (AQS) são produzidas com recurso a cilindros de 50, 100 e 200 litros.

Realizou-se um levantamento dos equipamentos elétricos no edifício, podendo estes ser de escritório, *catering* e inerentes às atividades do quartel de bombeiros.

Dentro dos equipamentos de escritório encontram-se o servidor, computadores, fax, impressoras, monitores, projetor, televisões e sistema de vídeo vigilância.

No caso dos equipamentos de *catering* estes consistem em frigoríficos, arcas congeladoras, arcas de refrigeração e máquinas de café.

Carregadores de rádios e lanternas, bem como o elevador para veículos e um carregador de garrafas de ar comprimido, pertencem ao grupo dos equipamentos inerentes á atividade de bombeiro.

F. Ocupação e horários

Por cada espaço foi verificada a ocupação média do espaço, bem como o horário de funcionamento do mesmo, e dos sistemas de iluminação, dos sistemas de aquecimento e arrefecimento e dos equipamentos presentes no mesmo.

G. Simulação dinâmica

Foi necessário, para fazer a simulação do edifício, criar um modelo 3D do mesmo na plataforma *DesignBuilder*[®]. Este modelo pretende-se que represente as condições reais de funcionamento, assim como as suas características de construção de forma que a simulação seja o mais fiável possível.

Após tratar devidamente as plantas do edifício, com recurso ao *software AutoCAD*[®], estas foram importadas para o *DesignBuilder*[®], para que fosse possível desenhar os contornos de cada piso, criando blocos, e sobrepô-los de forma a dar forma ao edifício, como se pode ver na figura 2.

Posteriormente foram criados os vãos envidraçados e portas. As palas da cobertura e painéis de fibrocimento foram representadas, sob a forma de *component blocks*, pois causam sombreamento ao edifício.

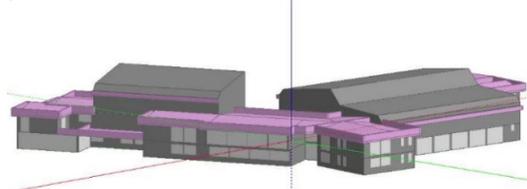


Figura 2. Vista frontal do edifício

Com o edifício construído, cada piso foi dividido em zonas, de acordo com a Portaria n.º 349-D/2013, para simulações multizona.

Foi necessário caracterizar cada zona segundo a sua utilização, ocupação e iluminância.

Para finalizar o modelo, foram definidas as constituições dos diferentes tipos de pavimento, coberturas, paredes, vãos envidraçados, tipos de lâmpadas, sistemas técnicos de aquecimento e arrefecimento, sistema para as águas quentes sanitárias.

No modo *Visualise* é possível ver o edifício já com as cores da envolvente definidas, e com sombreado e demais detalhes de relevo, figura 3.



Figura 3. Modelo 3D do edifício em modo *Visualise*

III. ANÁLISE DE RESULTADOS

A primeira simulação pretendia obter resultados próximos aos dos consumos elétricos durante um ano.

Considerou-se à parte da simulação a utilização das lâmpadas 7 e 8, que pertencem ao exterior do edifício, sendo que a lâmpada 8 é um poste de iluminação, com um relógio como controlador e está ligado durante a maior parte do período noturno e a lâmpada 7, apenas é utilizada pontualmente na área reservada a lavagem de viaturas.

Estimou-se um consumo anual destas de 12066 kWh.

Com a simulação obtém-se os seguintes resultados de acordo com a tabela 3.

Tabela 3. Consumos por tipologia

	REAL
Iluminação interior	11355,49
Equipamentos	60156,22
Arrefecimento	7081,39
Aquecimento	17923,34
AQS	10717,44
Total kWh	107233,88

Somando o valor dado pela simulação mais o consumo estimado da iluminação exterior obtemos um consumo de 119299,88 kWh. O que dá um desvio de 0,12%, face aos consumos reais.

Verificou-se que a temperatura de conforto média do edifício era de cerca de 15°C.

A. Medidas de melhoria

a) colocação de *External Thermal Insulation Composite Systems* (ETICS), nas paredes exteriores e pavimento exterior de 10 cm de espessura;

b) colocação de ETICS, nas paredes exteriores e pavimento exterior de 8 cm de espessura;

c) colocação de ETICS, nas paredes exteriores e pavimento exterior de 6 cm de espessura;

d) colocação de painel *sandwich* com 6 cm de isolamento, em substituição de toda a parte com amianto. Mais Poliestireno Espandido Extrudido (XPS) de 8 cm na parte superior da laje;

e) colocação de painel *sandwich* com 6 cm de isolamento, em substituição do amianto, nas zonas dos parques de viaturas e no salão. Na restante, sai o amianto, ficando a laje à vista, levando XPS de 12 cm com camada de regularização e tela de Policloreto de Vinilo (PVC).

Na tabela 4, podemos ver a análise dos resultados das medidas de melhoria (MM a), b) e c), e verifica-se que um melhor isolamento da envolvente leva a uma maior redução dos consumos de energia, os resultados não descem significativamente, pois poucos são os espaços com sistemas de aquecimento e arrefecimento, mas verificou-se um aumento da temperatura de conforto interior em cerca de 2°C.

Tabela 4. Consumos por tipologia das MM a), b) e c).

	MM1A ETICS 10 cm	MM1B ETICS 8 cm	MM1C ETICS 6 cm
Iluminação interior	11355,49	11355,49	11355,49
Equipamentos	60156,22	60156,22	60156,22
Arrefecimento	6781,78	6770,06	6756,82
Aquecimento	15821,12	16030,03	16310,72
AQS	10432,97	10489,41	10546,1
Total kWh	104547,58	104801,21	105125,35
Redução %	2,51%	2,27%	1,97%
Redução kWh	-104547,58	-104801,21	-105125,35

Na tabela 6, analisaram-se os resultados para as soluções relativas às coberturas exteriores. Tendo obtido resultados muito próximos entre ambas. Verificou-se um aumento da temperatura de conforto interior em cerca de 3,5 °C.

Tabela 5. Consumos por tipologia das MM d) e e)

	MM2 cobertura A	MM2 cobertura B
Iluminação interior	11355,49	11355,49
Equipamentos	60156,22	60156,22
Arrefecimento	8276,39	8858,73
Aquecimento	8679,22	8074,63
AQS	10717,44	10717,44
Total kWh	99184,76	99162,51
Redução %	7,51%	7,53%
Redução kWh	-99184,76	-99162,51

Posteriormente procedeu-se á conjugação das medidas de melhoria de modo a analisar qual a melhor opção, de modo a obter uma que englobe a reabilitação de paredes, pavimentos e coberturas exteriores, como se pode verificar de acordo com as tabelas 8 e 9.

A medida de melhoria c) não foi considerada para estes cálculos, por não cumprir os requisitos mínimos do valor de coeficiente de transmissão térmica para paredes exteriores.

Tabela 6. Consumos entre a conjugação da MM a) com a d) e e)

	MM1A + MM2A	MM1A + MM2B
Iluminação interior	11355,49	11355,49
Equipamentos	60156,22	60156,22
Arrefecimento	8176,75	8888,14
Aquecimento	6596,22	5760,4
AQS	10489,41	10432,97
Total kWh	96774,09	96593,22
Redução %	9,75%	9,72%
Redução kWh	10459,79	10640,66

Tabela 7. Consumos entre a conjugação da MM b) com a d) e e)

	MM1B + MM2A	MM1B + MM2B
Iluminação interior	11355,49	11355,49
Equipamentos	60156,22	60156,22
Arrefecimento	8231,96	8888,14
Aquecimento	6367,63	5760,4
AQS	10432,97	10432,97
Total kWh	96544,27	96593,22
Redução %	9,97%	9,92%
Redução kWh	10689,61	10640,66

IV. ANÁLISE DE RESULTADOS

De acordo com as faturas de eletricidade o edifício apresenta um consumo atual anual de 119444 kWh. As simulações indicaram que a melhor opção como medidas de reabilitação do edifício seria a conjugação *entre a colocação de ETICS* com 8 cm de espessura para paredes e pavimentos exteriores e, colocação de painel *sandwich* com 6 cm de isolamento, em substituição do amianto, mais XPS de 8 cm na parte superior da laje. A simulação estima um consumo anual de 96544 kWh, permitindo uma redução em cerca de 10% dos consumos atuais.

A temperatura média interior no edifício subiu em cerca de 4,3 °C, passando para um valor de 19,3 °C, com esta subida permite uma melhoria das condições de conforto térmico.

REFERÊNCIAS

- [1] Vaz A. J. & Ferreira, D. R. & Luso, E. C. & Fernandes, S. M., Manual para a conservação e reabilitação da diversidade bioconstrutiva, Bragança: Câmara Municipal de Bragança, 2013.
- [2] A. Lopes e S. Cova, *Simulação Dinâmica de um Edifício de Comércio e Serviços - Brigantia Ecopark*, Bragança, Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 2015.
- [3] EDP, “EDP Brasil,” 12 Fevereiro 2019: <http://www.edp.com.br/pesquisadores-estudantes/energia/o-que-e-energia/Paginas/default.aspx>
- [4] ANSI/ASHRAE Standard 140-2017 - Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs, January of 2017. ISSN 1041-2336

Small scale power generation Unit using Biomass gasification: The SUBe Project

Fernanda Resende, Valter Silva, Miguel Mendonça, António Barbosa, Paulo Brito, João Azevedo,
Arlindo Almeida, Helder Gomes

Fernanda Resende
Technology and Management School of
Águeda – University of Aveiro
Águeda, Portugal
fernanda.resende@ua.pt

Valter Silva
Technology and Management School of
Águeda – University of Aveiro
Telecommunication Institute
Aveiro, Portugal
vfs@ua.pt

Miguel Mendonça
Technology and Management School of
Águeda – University of Aveiro
Águeda, Portugal
mlm@ua.pt

António Barbosa
Technology and Management School of
Águeda – University of Aveiro
Águeda, Portugal
barbosa@ua.pt

Paulo Brito
Technology and Management School –
Polytechnic Institute of Bragança
Mountain Research Centre
Bragança, Portugal
paulo@ipb.pt

João Azevedo
Technology and Management School –
Polytechnic Institute of Bragança
Mountain Research Centre
Bragança, Portugal
jazevedo@ipb.pt

Arlindo Almeida
Technology and Management School –
Polytechnic Institute of Bragança
Mountain Research Centre
Bragança, Portugal
acfa@ipb.pt

Helder Gomes
Technology and Management School –
Polytechnic Institute of Bragança
Mountain Research Centre
Bragança, Portugal
htgomes@ipb.pt

Abstract—This paper presents a research and development project aiming to demonstrate the technical feasibility of using forest biomass for power generation using small scale systems. For this purpose, an experimental setup, suitable to be used as a distributed generation unit, has been developed. Then, key developments of this project rely on the design and development of the biomass gasifier prototype as well as on the syngas cleanup system to fuel a conventional internal combustion engine for running the synchronous generator. Also, a suitable monitoring and control system will be developed to assure the safe operation of the whole system and to control the coordinated operation of the integrated subsystems. High level control functionalities will be implemented for performing load following when the power unit is operated in stand-alone or to adjust the output power following requests of the distribution system operator.

Keywords—Biomass gasification, internal combustion engine, electricity, forest waste valorization, coordinated control

I. INTRODUCTION

Using of solid biomass fuels has been considered a promising pathway to reduce the fossil fuels usage in the energy sector and, therefore, to reduce the greenhouse gas emissions in Europe [1]. Also, according to the energy policy framework established under the “Clean Energy for all Europeans Package”, the change for a clean energy will bring considerable benefits for consumers and economy. The EU leadership is underlined in what concerns tackling the global warming and to provide an important contribution to the EU long-term strategy of achieving the carbon neutrality in 2050.

Following the ongoing efforts at the EU level, the Portuguese government reinforce the commitment to achieve the neutrality of the carbon emissions by the end of 2050, drawing a clear vision of the deep decarbonisation of the national economy. For this purpose, a demographic model of territorial cohesion is planned to be followed, aiming to contribute for wealthy creation and efficient use of the endogenous resources.

Thus, using biomass as an energy resource plays an important role within this endeavour. Considering the importance of the forests in the Portuguese economy and, also, the impacts of rural fires in both economic and social dimensions, it is essential to develop solutions for using the biomass as energy resource, aiming to help the management of rural areas by removing the fuel load in them and, therefore, reducing the spread of rural fires and to add value to the biomass available in rural areas. For this purpose, the logistic issues are expected to be improved, through the promotion and government support for the dissemination and of both collection and storage centres, following a local and distributed logic, to make the biomass available in a municipal and intermunicipal scale. These issues are included in the action line aiming to promote a better use of biomass for energy applications of the Portuguese energy policies advocated by the National Plan for Energy and Climate 2030.

Moreover, using the biomass available in rural areas will contribute to face the concerns related with security of supply, which are in line with the national economy decarbonization, considering the specific characteristics of the Portuguese power system and, additionally, to seek for increasing its resilience. Within this framework, using biomass as Renewable Energy Source (RES) will also contribute to increase the diversification of energy resources and to manage the power supply by exploiting the complementarity of RES.

Both small and micro scale energy production units, although easier to deploy due to size, biomass availability and legislation advantages, present lower electrical efficiencies in comparison to bigger facilities, mainly due to the drop of the steam turbines isentropic efficiency [2]. Therefore, the concept of gasification is becoming more interesting due to the utilization of the Internal Combustion Engine (ICE) or gas microturbines in combination with the valorisation of heat in Combined Heat and Power (CHP) applications, resulting to higher efficiencies that can make investments of biomass gasification more appealing and economically viable. Because the biomass is spread widely around the country, a small scale biomass conversion system would be more competitive than a

This work is founded by the Portuguese Foundation of Science and Technology within the framework of the Project PCIF/GVB/0197/2017

larger plant due to the portability and feedstock transportation costs [3]. Nonetheless, the market penetration of small and micro scale biomass gasification systems was not significant. This could be due to the lack of commercial solutions to deliver stable, reliable and cost-effective technologies [4], [5].

Thus, the project SUBe – Small scale power generation Unit using Biomass gasification (PCIF/GVB/0197/2017), aims to contribute for overcoming some of the technology barriers of using biomass gasification for power generation in small and micro scale applications. For this purpose, an experimental set up has been developed with flexibility enough to address the following main tasks: Collection and pre-treatment of rural biomass; Biomass gasification; Gas cleaning; Feeding the syngas to the Internal Combustion Engine (ICE); Running the synchronous generator to produce electricity. This system, rated around 5 kW, is suitable to be used in distributed energy applications in rural areas. Therefore, the solution to be implemented should be modular, operated with a significant automation level and based on specific designs reported on the available literature and on commercially available technologies. Also, they will support two system operation modes: Grid connected, when the system is delivering electricity to the distribution network; Stand-alone, when the system is feeding local variable loads.

Moreover, a suitable monitoring and control system will be developed to assure the safe operation of the biomass gasification-based power plant and to control the coordinated operation of the integrated subsystems. Also, high level control functionalities will be implemented allowing the biomass gasification based power unit to perform load following when operated in stand-alone, providing voltage and frequency control, or to adjust the output powers following requests of the distribution system operator when interconnected to the distribution system and to improve the whole system performance in both modes of operation.

II. BIOMASS GASIFICATION FOR POWER GENERATION

Biomass gasification has been considered as one of the most promising technology of renewable energy conversion applications. However, the choice of the gasification system depends on many factors, such as biomass characterization, gasifier capacity and end use applications. According to the literature review presented in [6], [7], the downdraft gasifiers with throat are found prominent for both ICE and thermal applications as the tar and particulates content in producer gas is accepted for these technologies. Thus, the following sections provide a critical review of the literature considering the gasifier integration with the engine/generator set to produce electricity for direct usage.

A. The Gasification System

Biomass gasification is the process of partial combustion of biomass feedstock, under controlled air supply, producing a mixture of gases, commonly known as syngas or producer gas, containing Hydrogen (H_2), Carbon Monoxide (CO), Methane (CH_4) and some other inert gases. This process comprises four main steps [8]-[11]: Drying to remove the moisture from biomass fuel and its conversion into steam; Pyrolysis undergoing after biomass is heated for thermal decomposition of biomass fuels in the absence of Oxygen (O_2); Oxidation or combustion taking place at high temperatures range in the presence of O_2 (air); Reduction where the reactions of reduction take place, resulting the formation of CO, H_2 and CH_4 .

The quality of the syngas generated in the gasification process is strongly influenced by both the design of the gasifier and the flow patterns of air and biomass particles within a gasifier. However, for a specific gasifier design, there are two major variable parameters commonly used to achieve an acceptable level of the syngas quality: The Equivalent Ratio (ER) and the Superficial Velocity (SV) [10], [11].

The ER is defined as the ratio of the air volume supplied per kg of biomass fuel and the volume of air which is necessary for stoichiometric combustion of the above volume of biomass fuel. The ER is considered as one of the most important variables in the gasification process, which affect the quality of the syngas, since the amount of air fed into downdraft gasifiers control the biomass consumption rate [12]-[15]. The stoichiometric air/fuel ratio in cubic meters per kg of biomass can be expressed in terms of chemical composition of the fuel. Typical values of ER for biomass gasification vary between 0.2 and 0.4 [10].

In turn, the SV is defined as the ratio of the syngas production rate at normal operating conditions and the narrowest cross-sectional area of the gasifier. SV influences the gas production rate, the gas energy content, the fuel consumption rate, the power output and both char and tar production rates [16]-[18]. The SV is independent of the reactor size, allowing a direct comparison of gasifiers with different power outputs. Low values of SV result in a slow pyrolysis process with high yields of char and significant quantities of unburned tars. In contrast, high values of SV result in a very fast pyrolysis process, formation of a reduced amount of char and very hot gases in the flaming zone. A good performance of the gasifier, in terms of syngas low tar contents, was achieved for SV values of about 0,4 Nm/s [16].

According to [10] the main output parameters of the biomass gasification process in downdraft gasifiers are the syngas composition, the calorific value of syngas, the thermal power of the gasifier, the gas yield and the efficiency of the thermochemical process.

The composition of the syngas is strongly dependent of the temperature of the reactor, which is influenced by the ER value. Also, the concentrations of H_2 , CO and CH_4 are controlled by the kinetics of the chemical reactions occurring in the gasification process. Therefore, the oxidizing agent has a considerable influence on the calorific value of the syngas. Using air as oxidant agent produces syngas with high concentrations of Nitrogen (N_2) and, hence, with a lower calorific value. On the other hand, the concentration of H_2 , CO and CH_4 increase significantly if O_2 , water steam or a mixture of both is used [19]. A typical gas composition from biomass gasification in downdraft gasifiers, using air as the oxidizing agent is: 15-20% of H_2 , 15-20% of CO, 0,5-2% of CH_4 , 10-15% of CO_2 , being the remaining parts N_2 , O_2 and C_xH_y [10]. The syngas calorific value does not exceed 6 MJ/Nm³ [17].

The yield is used to measure the specific production of the syngas, in cubic meters, per mass of the feedstock supplied to the gasification system. This parameter is directly proportional to the ER variation [17], [20] and to the residence time of the gases in the reduction zone of the gasifier [3]. The ash content in biomass contributes to limit significantly the yield of the syngas. Typical values for wood gasification in a downdraft gasifier range between 2 and 3 Nm³/kg [10].

The gasification efficiency is strongly dependent of the type of biomass used, its particle size, the ER value and the

design of the gasifier. The cold efficiency is commonly used to compare efficiencies, corresponding to the ratio of the heating value in the syngas and in the feedstock. Typical values of the cold efficiency in a downdraft gasifier are between 50 and 80% [10].

The literature overview allows concluding that the performance parameters of the biomass gasification in a downdraft reactor are strictly dependent on the physical-chemical properties of the feedstock, such as the moisture content and the particle size. They are influenced by the process parameters, which determines the temperature levels. The system efficiency depends on the design features of the gasifier, such as the location of air inlets and the volume of the gasification zone.

B. The ICE fuelled with syngas

ICE have been commonly used with downdraft gasifiers and several researches has been performed on studying and improving the operation of ICE, since the syngas quality as a fuel is considerably poorer than the quality of the conventional fossil fuels. Using the syngas from biomass gasification for electricity generation exploiting the ICE, requires assuring that the syngas quality is sufficiently high in terms of the content of both particulates and tar in order to keep the ICE reliable operation and to provide an adequate durability of the several components of the ICE, such as the valves, the combustion chamber, the pistons, etc. According to [21] the allowing particulates and tar concentration of syngas should be less than 50 mg/Nm³ and 100 g/Nm³, respectively, for assuring the satisfactory operation of the ICE.

The parameters which mainly affect the performance of the ICE are the energy density of the heating value of the syngas/air mixture, the displacement volume of the engine, the methane or octane number of the fuel, the flame speed of the fuel/air mixture, the auto-ignition delay period, the compression ratio of the engine and the spark timing [10].

The energy density of a fuel/air stoichiometric mixture is commonly determined in terms of the volumetric heating value, which is lower in syngas than in conventional fossil fuels. Therefore, a considerable power de-rating is verified when the ICE switches to syngas. However, a lesser value of power de-rating could be achieved if the syngas is used in engines with a higher compression ratio. Thus, the current engine technology trend to exploit advantages of lean combustion operation. For syngas/air mixtures the lean combustion condition is achieved when the air/fuel ratio is greater than 2 and, in such condition, the relative density of energy of the syngas/air mixture may be significantly increased [22]. Syngas is adequate for a lean burn and combustion of a corresponding fuel/air mixture results in low NO_x emissions due to the lower combustion temperature and in the low specific fuel consumption [10].

The amount of a combustion mixture which can be delivered for a combustion chamber in a cylinder is determined by the displaced volume of the engine and the initial pressure and temperature. When the ICE is switched for syngas, the fuel amount should be increased significantly and could exceed its capacity. Therefore, a turbocharger is required for increasing the pressure of the air/syngas mixture in the beginning of the compression process in a cylinder.

Regarding the flame speed, it depends on the chemical composition of fuel, the amount of air used in the combustion

process (characterized by the parameter ER) and both pressure and temperature of the fuel/air mixture, having a significant effect on the ICE performance and on the level of pollutant emissions [23]. At typical engine operating conditions, characterized by high pressures and temperatures, the syngas laminar flame velocity values should be calculated to be lower than that of isoctane but higher than methane [10].

Due to the considerable H₂ concentration in syngas, a smaller spark advancement is required in the spark timing to achieve a better ICE performance. In this case the spark is fired when the piston is very close to its top dead centre. The spark timings in engines fuelled by syngas are retarded, when compared to the conventional ones, aiming to achieve a higher efficiency. According to [24], the ignition timing must be retarded with an increase in a compression ratio in order to achieve the maximum brake torque point.

For gaseous fuels, the methane number is used to compare knock properties. ICE with high compression ratio requires fuels with high octane/methane number in order to avoid an uncontrolled self-ignition of the fuel and the formation of sharp pressure peaks in the cylinders after the start of such a combustion process. It should be noted that the syngas has a higher methane number than natural gas and therefore it is not prone to detonation during the compression stroke [25]. The high concentration of inert gases in syngas acts as a knock compressor explaining the high methane number with respect to natural gas [26], [27]. Gaseous fuels with high H₂ concentrations usually are less resistant to detonation. However, the high flame speed of the fuel/air mixture significantly reduces the probability of knocking [28].

The auto-ignition delay period of a fuel/air mixture is an important parameter to be considered in the ICE operation. This parameter is defined as the time required for the mixture to spontaneously ignite at certain temperature and pressure conditions. The ignition delay depends on the syngas composition and on the syngas/air ratio in the engine [29]. The expected lower combustion temperatures, together with the longer auto-ignition delay period would make it possible to increase the compression ratio of the engine without increasing the knock tendency [22].

The literature overview highlights that the switching of ICE to syngas is followed by the engine power de-rating, due to the low energy density of syngas/air mixture and the volumetric efficiency of the engine. Also, due to the relatively high flame speed of the syngas/air mixture, the spark ignition time should be retarded to increase the efficiency of the engine operation. Finally, the possibility of using ICE with higher compression ratio without increase the knock tendency is an important advantage when engines with high compression ratio are employed. In fact, the use of air as an oxidiser agent in the biomass gasification process leads to high concentration of N₂ in the fuel/air mixture, acting as a knock suppressor.

C. The syngas conditioning

As already mentioned previously, the gas produced during the biomass gasification cannot be used in the end use applications. It must be cooled and cleaned properly for both smooth and efficient operation of the ICE. There are multiple options to clean-up the syngas, such as physical processes, thermal process and catalytic process [6]. Physical gas cleaning is one of the simplest cleaning methods comprised of either filtration or wet scrubbing of the syngas in order to remove the tar and particulate matter from the gas steam

through gas/solid or gas/liquid interactions. The filtration may be conducted either in high temperature or ambient temperature, while the scrubbing is usually conducted at ambient temperature. However, the fouling of particulate matter and sticky tar has been considered a crucial problem.

In the thermal process of gas cleaning the heavy tar species are cracked down to lighter and less problematic smaller molecules, such as CH_4 , CO and H_2 . However, the efficiency for tar cracking is usually achieved at very high temperatures. Moreover, the physical filtration and even high temperature cracking is inefficient to meet the ICE fuel requirements [5]. Therefore, using effective catalysts is often considered as an attractive method without the need of cooling the syngas. However, in [3] the syngas is cleaned following three major stages: cyclone separator, cooling towers and filters.

III. THE PROJECT PROPOSAL

The SUBe project proposal aims to develop an experimental set-up of a small system with capability to generate electricity using the biomass available in Portuguese rural areas. This small power plant should be suitable to be used as a distributed power generation unit. Therefore, the intended technical solution involves addressing the following main tasks: Collection and pretreatment of biomass; Biomass gasification; Syngas clean-up; Switching the ICE to syngas; Running the synchronous generator for power generation. According to the literature review presented in section II, the biomass gasification, the syngas clean-up and switching the ICE from conventional fossil fuels to syngas are expected to be challenging tasks for the implementation of the small power generation system using biomass gasification. Key developments of the SUBe project rely on designing and development of the biomass gasifier and the syngas cleaning system. It must be stressed that the conventional ICE has been highlighted in the available literature as a cost-effective solution and the most efficient technology for small-scale power generation exploiting biomass gasification. However, there are several stringent requirements concerning the syngas composition, to be used as a fuel in the ICE. Therefore, the biomass gasifier prototype that has been developed follows the conceptual solution of the downdraft type gasifier, as recommended in the available literature, since they provide syngas with low tar oils and fast response times, being suitable for powering ICE feeding either fixed or variable loads. Also, the clean up system will be designed and implemented to remove particulates and tars before feeding the syngas to the ICE. Another issue to be carefully addressed relies on the ICE fueled by syngas to produce the mechanical power required to run the synchronous generator. The general overview of the small biomass gasification power plant is provided in Fig. 1.

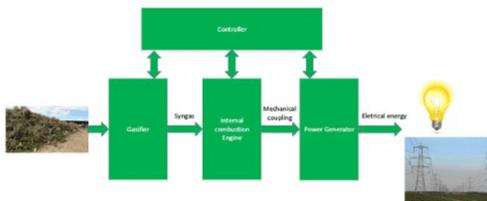


Fig. 1. General overview of the SUBe concept

Besides the assembling of the whole system, a suitable monitoring and control system will be developed to assure the safe operation of biomass gasification-based power plant and

to control the coordinated operation of the integrated subsystems. It is required to have automatic controls and safety monitoring systems, focusing specially the biomass gasifier to keep the stability of the system operation, which will be achieved by controlling the ER to maintain the gasifier temperatures to desired values. In addition, high level control functionalities will be implemented allowing the power unit performing load following when operated in stand-alone or to adjust the output powers following the distribution system operator requests when interconnected to the distribution network. The implementation of these control functionalities are also innovative developments with the framework of the SUBe project. The following sections provide a general overview about the main subsystems.

A. Pretreatment of Biomass

The collection/harvesting and processing of biomass feedstock is intended to be integrated in the process of energy conversion using biomass gasification. Thus, it is necessary to produce a protocol for forest biomass provision for the gasification process and to evaluate the biomass available locally in the centre and northeast regions of Portugal from forests and rural areas. These protocols will present the specific best practices to be followed in sustainable harvesting and procession of forest biomass for energy. The protocols will be made based on a thorough literature review of both scientific and technical publications, addressing the following aspects of biomass: Characterization (density, heating values, ash composition, moisture, ash, volatile and fixed carbon content); Methods, tools and processes for harvesting and collection; Pre-processing (chopping, chipping, bundling); Transportation; Storage; Upgrading (drying, torrefaction).

The assessment of biomass will provide detailed information per study area on the forest area, forest area per species, forest volume (total, per species), forest volume available from harvesting and from thinning. This information will make possible to estimate the potential use of biomass as feedstock for bioenergy in the two regions. A protocol will be elaborated for the supply of forest biomass for gasification in the northeast and centre of Portugal and the guidelines for collection/harvesting and pre-treatment of the biomass feedstock for gasification.

B. Biomass Conversion to Mechanical Energy

The prototypes to be developed involve the biomass gasifier and the cleanup syngas system. Thus, the main principles of the gasification-based combustion science should be carefully evaluated aiming to expand the range of usable fuels obtained from rural biomass gasification and to produce a cleaner syngas, minimizing the tar levels at acceptable costs. Thus, the first step comprises the selection of the desired power capacity of the small-scale power unit and the downstream ICE to generate mechanical power. Also, designing the gasifier involves the definition of its geometry, sizing (that affects the production of particles) and materials to be used. The literature review presented in section II recommends using the downdraft gasifier, which produces low tar levels to fuel the ICE. Therefore, these technological solutions have been adopted within the framework of the SUBe project. It must be stressed that the gasifier will be constructed using commercially available materials such as steel pipe, sheet and plate and, also, corrosion resistant materials. These materials will be selected according to their availability and conventional fabrication techniques that will contribute to reduce costs. The syngas cleanup system will be

developed aiming to remove particulates, tars and water. Also, the design of the cleanup system requires determining the magnitude, size and nature of the contaminants and then to couple this information with the methods available for their removal. For this purpose, the most promising solutions will be identified from the available literature and evaluated to adopt a cost-effective solution that allows obtaining syngas with the tar levels accepted by the ICE.

The biomass gasifier is sized according to the fuel consumption of the ICE [24], [28]. The effect of design and operating parameters on the gasification process of biomass, analysed in several works developed more recently, were also considered for the definition of the gasifier design [9], [10]. The gasifier operation will be monitored and controlled based on the temperature measurement in the heated air inlet, pyrolysis, combustion and reduction zones, and in the gas producer outlet, and flow rate measurements of air inlet. The control of the gasifier operation will be performed by adjusting the inlet air flow to obtain the combustion temperature that corresponds to the ER of the combustion to which the maximum cold gas efficiency is obtained. This temperature depends on the gasifier and on the feedstock physical and chemical properties, so it will have to be determined experimentally, based on the measure of the composition and flow rate of the syngas produced. The composition will be determined using a gas analyser, placed after the producer gas clean-up system.

The gas produced in downdraft gasifiers carries dust, containing of tars and particulates. These contaminants must be removed, otherwise they will deteriorate the engine. In the first steps of the project a clean-up system will be developed regarding, mainly, the remove of particles, since we expect to have low tar concentration in the produced gas. It will be composed by a cyclone separator, that removes larger dust particles from the hot gases leaving the gasifier, followed by a gas cooler, where tar condensates, and filter that removes the smaller particles and tar droplets. If too high levels of tar in the producer gas are observed, a scrubber will be included in the clean-up system.

A system to prepare the mixture of producer gas and air, in the correct ratio, and supply it to the engine will be developed. This fuel supply system consists on a tube where converges, and are mixed, the producer gas coming from the cleaning system and the atmospheric air. The control of the desired composition of the fuel/air mixture is accomplished by metering the admitted air flow rate using a motorized valve. The mixture flow rate supplied to the engine is controlled by a motorized valve, located after the mixing zone of the tube. The positions of the valves that provides the required combustible gas mixture load to supply to the engine and the desired air/syngas mixture composition, are determined based on the measurement of the air and fuel gas flows. For this purpose, the air and fuel inlet ducts are equipped with air mass probes.

C. The electrical generator

The conversion of mechanical power to electrical power is intended to be performed by using a conventional cost-effective synchronous generator rated around 5 kW. Control functionalities will be developed to properly assure the interface with the distribution network and to perform load following when the small-scale power generation unit based on biomass gasification is intended to be used in stand-alone mode of operation. Conventional synchronous generators are

usually equipped with Automatic Voltage Regulator (AVR) to perform voltage regulation and to control the reactive power injected to or absorbed from the electrical network. So, the AVR will be exploited to provide voltage control, focusing mainly the operation of the small-scale power unit based on biomass gasification in standalone. When the system is operated in grid connected mode, several improvements will be required to allow the AVR contributing to adjust the reactive power to operate the system according to the required power factor.

Additional developments are required to implement and integrate the power frequency control system, which will be responsible for performing frequency control by adjusting the active power generation and, therefore, the outputs of the downstream systems, such as the speed of the Internal Combustion Engine (ICE) and, therefore, the ICE intake. Also, this controller will allow the power generation system performing load following functionalities. To support this development a suitable mathematical model able to represent the dynamic behavior of the small-scale power generation unit based on biomass gasification will be derived and validated using experimental data. In addition, some improvements will be performed regarding the AVR and the power frequency controller aiming to allow these controllers accepting requests (set points of active and reactive power and voltage) sent by the distribution system operator when the system is intended to be operated in grid interconnected mode. These control functionalities are key developments regarding the small-scale power unit based on biomass gasification, assuring its effective operation in grid connected mode and in standalone mode. Also, these control functionalities should be exploited within the framework of further developments to integrate this system within the smart grids operation framework.

D. Monitoring and Control System

The monitoring and control system aims to supervise several key variables that provide information about the safe operation of the system, control the coordinated operation of the system involving the operational interaction between them and implement high level control and management functionalities to increase the system operation flexibility. It must be stressed that the automatic and unattended operation is a key issue for small scale power generation units based on biomass gasification. These requires automatic fuel feed and char-ash removal equipment which should also be controlled. Also, the mechanical system needs to be controlled to obtain better performance and to have a superior gas production to be used in the internal combustion engine, thus, optimizing the production of electrical energy on the entire system.

The control system of the gasifier will be done using a PIC32MX795 Microchip microcontrollers, a 32 bits microcontroller without floating point capabilities. The various parameters that have been monitored during the experiment are: bed temperature, exit gas temperature, biomass consumption rate, ash/char extraction rate, gas flow rate, gas composition and pressure drops across the reactor, cyclone and scrubbers. Temperature measurements were carried out using K type thermocouples. Five thermocouples were inserted along the length of the reactor and, with the help of the microcontroller display the temperature in a vertical plan. The ventilator is used to inject air inside the gasifier. The air flow in controlled by the microcontroller. Gas flow rate was measured using a calibrated venturimeter, and biomass consumption using a strain gauge-based weighing balance

with least count: 1 kg. An online gas analyzer with measurement range for CO/CH₄/H₂: 0–100% by volume was used for measuring gas composition, and data were acquired at an interval of 0.5 min. Pressure differences at various locations were measured using U tube water manometers.

At the ignition phase there is not enough syngas to be burned into the internal combustion engine, so that the residual syngas must be burned in a torch. A valve will be used to control the flow of the syngas in two different paths: the torch (at ignition phase) and the ICE in steady state operation. Note that, the ignition phase tends to be a durable phase. This is because the ignition is slow, and after the ignition there is a time to the burning enters in a steady state to produce the syngas in a consistent way for running the ICE.

At a high control level, there is a control based on an embedded power computer to control in a coordinated way all the subsystems. This power computer can be connected to the internet for monitoring and controlling the energy production system.

IV. CONCLUSIONS

The development of small-scale power generation units based on biomass gasification have been supported by a few research and development activities carried out around the world. In Portugal these developments are still in a very early stage. However, biomass gasification is recognised as an effective process to meet the growing interest of disseminating local power generation exploiting renewable energy resources. Furthermore, these systems present an increasing potential for use in rural areas, either to feed isolated loads or to generate electricity to be injected into local distribution networks. In Portugal, real opportunities exist for the deployment of these systems, using biomass gasification, since it is expected that these systems will provide important contributions to support the management and valorisation of the biomass available in rural areas, which will play a key role in the prevention and fighting of forest fires. For this purpose, significant research and development activities are required, involving several areas of knowledge, to find cost-effective solutions suitable for rural applications to be attained in a commercial environment in a short-term.

ACKNOWLEDGMENT

This work was made on behalf of the FCT (Portuguese Foundation for Science and Technology) project PCIF/GVB/0197/2017.

REFERENCES

- [1] A. Zervos, C. Lins, L. Tesnière, E. Smith, Energy roadmap. Mapping Renewable Energy Pathways towards 2020, European Renewable Energy Council, Brussels, 2011, pp. 10-12.
- [2] S. Consonni, Energy recovery – the relevance of scale, Proceedings of the Sustainable Waste Management, AIT Athens, 2012.
- [3] U. Lee, E. Balu, J.N. Ghung, An experimental evaluation of na integrated biomass gasification and power generation system for distributed power applications, Applied Energy, 2013, pp. 699-708.
- [4] S. Vakalis, M. Baratieri, State-of-the-Art of Small Scale Biomass Gasifiers in the Region of South Tyrol, Waste Biomass Valor, 2015, pp. 817-829.
- [5] M. Asadullah, Barriers of commercial power generation using biomass gasification gas: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, pp. 201-215.
- [6] S.K. Sansaniwal, K. Pal, M.A. Rosen, S.K. Tyagi, Recent advantages in the development of biomass gasification technology: A comprehensive review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, pp. 363-384.
- [7] E. Bocci, M. Sisinni, M. Moneti, L. Vecchione, A. Di Carlo, M. Villarini, State of art of small scale biomass gasification power systems: a review of the different typologies, Proceedings of the Conference of Italian Thermal Machines Engineering Association, 2013, pp. 247-256
- [8] D.M. Dzombo, R. Kiplimo, J.K. Kiplagat, Use of Biomass Gas in Running Internal Combustion Engine to Generate Electricity – A Review, Proceedings of Mechanical Engineering Conference of Sustainable Research and Innovation, Vol. 5, 2013
- [9] P.E. Akhator, A.I. Obonor, Review on Synthesis Gas Production in a Downdraft Biomass Gasifier for Use in Internal Combustion Engine in Nigeria, Journal of Applied Sciences and Environment Management, Vol. 22, 2018, pp. 1689-1696.
- [10] J.D. Martínez, K. Mahkamov, R.V. Andrade, E.E. Silva Lora, Syngas production in downdraft biomass gasifiers and its application using internal combustion engines, Renewable Energy, 2012, pp. 1-9.
- [11] J.A. Ruiz, M.C. Juárez, M.P. Morales, P. Muñoz, M.A. Mendivil, Biomass gasification for electricity generation: Review of current technology barriers, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, pp. 174-183.
- [12] I. Narvaez, A. Orio, M.P. Aznar, J. Corella, Biomass gasification with air in atmospheric bubbling fluidized bed. Effect of six operational variables on the quality of the produced raw gas, Industrial and Engineering Chemistry Research, 1996, pp. 2110-2120.
- [13] M. Dogru, C.R. Howarth, G. Akay, B. Keskinler, A.A. Malik, Gasification of hazelnut shells in a downdraft gasifier, Energy, 2002, pp. 415-427.
- [14] P. Lv, Z. Yuan, L. Ma, C. Wu, Y. Chen, J. Zhu, Hydrogen-rich gas production from biomass air and oxygen/steam gasification in a downdraft gasifier, Renewable Energy, 2007, pp. 2173-2185.
- [15] C. Ryu, Y.B. Yand, A. Khor, N.E. Yates, V.N. Sharifi, J. Swithenbank, Effect of fuel properties on biomass combustion: Part I. Experiments – fuel type, equivalence ratio and particle size, Fuel, 2002, pp. 1039-1046.
- [16] T. Yamazaki, H. Kosu, S. Yamagata, N. Murao, S. Ohta, S. Shiya, et al., Effect of superficial velocity on tar from downdraft gasification of biomass, Energy and Fuels, 2005, pp. 1186-1191.
- [17] P.N. Sheth, B.V. Babu, Experimental studies on producer gas generation from wood waste in a downdraft biomass gasifier, Bioresource Technology, 2009, pp. 3127-3133.
- [18] F.V. Tinaut, A. Melgar, J.F. Pérez, A. Horrillo, Effect of biomass particle size and air superficial velocity on the gasification process in a downdraft fixed bed gasifier. An experimental and modelling study, Fuel Processing Technology, 2008, pp. 1076-1089.
- [19] P. McKendry, Energy production from biomass (part 3): gasification technologies, Bioresource Technology, 2002, pp. 55-63
- [20] Z.A. Zainal, A. Rifau, G.A. Quadir, K.N. Seetharamu, Experimental investigation of a downdraft gasifier, Biomass and Bioenergy, 2002, pp. 283-289.
- [21] P. Hasler, T. Nussbaumer, Gas clean for IC engine applications from fixed bed biomass gasification, Biomass and Bioenergy, 1999, pp.385-395.
- [22] M. Lapuerta, J.J. Hernández, F.V. Tinaut, A. Horrillo, Thermochemical behaviour of producer gas from gasification of lignocellulosic biomass in SI engine, SAE paper 2001-01-3586, 2001.
- [23] J.J. Hernández, M. Lapuerta, C. Serrano, Estimation of the laminar flame speed of producer gas from biomass gasification, Energy and Fuels, 2005, pp. 2172-2178.
- [24] G. Sridhar, H.V. Sridhar, S. Dasappa, P.J. Paul, N.K.S. Rajan, H.S. Mukunda, Development of producer gas engines, Journal of Automobile Engineering, 2005, pp. 423-438.
- [25] M. Malenshek, D.B. Olsen, Methane number testing of alternative gaseous fuels, Fuel, 2009, pp. 650-656.
- [26] S.C. Bhattacharya, A.H.M.D Mizanur Rahman Siddique, H.L. Pham, A study on the wood gasification for low-tar gas production, Energy 1999, pp. 285-296.
- [27] S.O.B. Shrestha, R. Rodrigues, Effects on diluents on knock rating of gaseous fuels, Journal of Power and Energy, 2008, pp. 587-597.
- [28] J.B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, MCGraw-Hill, 1998.
- [29] J.J. Hernández, C. Serrano, J. Pérez, Prediction of the autoignition delay time of producer gas from biomass gasification, Energy and Fuels, 2006, pp. 532-539.

Performance improvement of a wind generation system using numerical methods in its power extraction algorithms

O. Carranza, D. Memije, J.J. Rodriguez, R. Ortega

O. Carranza
Escuela Superior de Computo
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, México
ocarranzac@ipn.mx
http://orcid.org/0000-0003-4761-0757

D. Memije
SEPI ESIME ZACATENCO.
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, México
memijeg@alumno.ipn.mx
https://orcid.org/0000-0002-3879-2176

J. J. Rodriguez
SEPI ESIME ZACATENCO.
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, México
jjrodriguezr@ipn.mx
https://orcid.org/0000-0002-7679-3508

R. Ortega
Escuela Superior de Computo
Instituto Politécnico Nacional
Mexico City, Mexico
rortegag@ipn.mx
http://orcid.org/0000-0002-3675-0992

Abstract— This paper presents the use of numerical methods in their power extraction algorithms to improve the performance of a wind generation system. This is based on the nonlinear model of a wind turbine to estimate wind speed. From the estimated wind speed, the turbine rotation speed that maximizes the wind energy conversion is obtained. A synchronous permanent magnet machine is used as a wind generator. The performance of the proposed algorithm is evaluated using Matlab. The performance of the wind speed estimator compares a conventional algorithm known as disturbing and observing. Because the proposed algorithm is based on the mathematical model of the wind turbine, it is sensitive to the uncertainties of the parameters. Therefore, to evaluate which parameter variation will have a deeper impact on the performance of the wind speed estimator, a sensitive analysis is performed by sweeping some parameter that will vary in a real wind turbine. The pros and cons of using the proposed algorithm are discussed.

Keywords—Maximum power point tracking, permanent magnetic synchronous generator, Wind generator system;

I. INTRODUCCIÓN

La penetración de la energía eólica en los sistemas eléctricos alrededor del mundo ha incrementado en los últimos años, debido a que esta energía es limpia y es ampliamente disponible en casi todo el mundo [1]. La principal motivación en la energía eólica es la preocupación del cambio climático y la contaminación ambiental, causada por el uso de combustibles fósiles. La Asociación Europea de Energía Eólica (EWEA, por sus siglas en inglés) pronosticó que, en 2030, la capacidad de energía eólica prevista en E.U. Sería de unos 300 GW, el doble de la capacidad instalada en 2014, lo cual evitará la emisión de 436 millones de toneladas de CO₂ [2]. Esta reducción de CO₂ es la razón principal por la que las fuentes de energía clásicas tienen que cambiar por fuentes de energía limpia.

La fig. 1 muestra el diagrama del sistema de generación eólica (SGE) de velocidad variable estudiado. Este SGE consiste en una turbina eólica, un generador eólico interconectado y un convertidor back to back. Para que dicho SGE sea eficiente, éste debe convertir la mayor cantidad posible de energía eólica en electricidad, lo cual se logra ajustando la velocidad del generador en su valor óptimo. Dicha velocidad óptima del generador varía a medida que cambia la velocidad del viento, y

es localizada mediante el uso de un algoritmo de búsqueda del punto de máxima potencia (MPPT, por sus siglas en inglés) [3]. Por esta razón, casi todas las instalaciones nuevas son empleadas los SGE de velocidad variable [4].

Hay dos enfoques principales en los algoritmos MPPT para SGE de velocidad variable: los métodos se basan en los algoritmos MPPT heurísticos que usa una estrategia de prueba y error para buscar la velocidad óptima del generador, mientras que los métodos deterministas usan el modelo matemático de la turbina eólica para calcular la velocidad óptima del generador [9]. Sin embargo, encontrar la velocidad óptima del generador de manera precisa y rápida es un problema actualmente difícil, ya que dicha velocidad óptima depende de la velocidad del viento, y el viento es un proceso estocástico que puede variar considerablemente rápido. Es por eso que se necesita de algoritmos MPPT que pueda liderar con cambios rápidos en la velocidad del viento.

El algoritmo MPPT presentado en este documento busca superar el problema de los cambios rápidos de la velocidad del viento al estimar la velocidad del viento y usa estas estimaciones como base para calcular la velocidad óptima del generador. En este trabajo también se propone evaluar la robustez del algoritmo propuesto a incertidumbres, dado que, el algoritmo depende del modelo matemático de la turbina eólica para estimar la velocidad del viento. Las incertidumbres de parámetros estudiadas pueden ser una consecuencia de las variaciones de las condiciones atmosféricas, el cambio de temperatura, el envejecimiento del sistema. La idea básica es realizar un barrido de parámetros para la resistencia del estator del generador, el flujo magnético del generador y la densidad del aire para evaluar cómo funciona el algoritmo MPPT propuesto bajo estas incertidumbres.

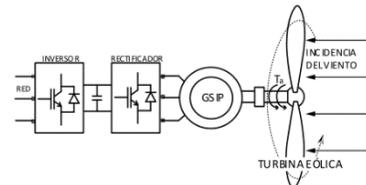


Fig. 1. Diagrama del aerogenerador utilizado en este trabajo.

Finalmente, se discute si se justifica el uso de técnicas de control más avanzadas para superar los problemas que causará la incertidumbre de los parámetros. Este estudio es la principal contribución de este trabajo. Se presentan simulaciones en MATLAB, las cuales demuestran el alto desempeño del algoritmo propuesto.

II. MODELO MATEMÁTICO DEL SISTEMA

El diagrama de control vectorial del sistema de generación de viento (SGE) se muestra en la fig. 2. Este sistema se utiliza para evaluar los algoritmos MPPT estudiados en este trabajo. El SGE de la fig. 2 es controlado por trece controladores PI en marco de referencia síncrono. La sincronización a la red a la red se logra mediante un lazo de enganche de fase en marco de referencia síncrono (SRF-PLL, por sus siglas en inglés). La MSIP que se trabaja como motor es programada para comportarse como una turbina eólica mediante los modelos matemáticos que se encuentran en [5]. La referencia del lazo de control de velocidad del generador es generada por un algoritmo MPPT, por lo que siempre se alcanza la velocidad óptima.

Un SGE de laboratorio, como el que se muestra en la fig. 2, es útil para estudiar el rendimiento de diferentes aerogeneradores con un modelo matemático disponible, especialmente cuando no es posible encontrar una instalación de investigación adecuada con un aerogenerador o la velocidad del viento es baja [6]. Varios trabajos utilizan un sistema similar para evaluar sus algoritmos MPPT [1], [7] - [8].

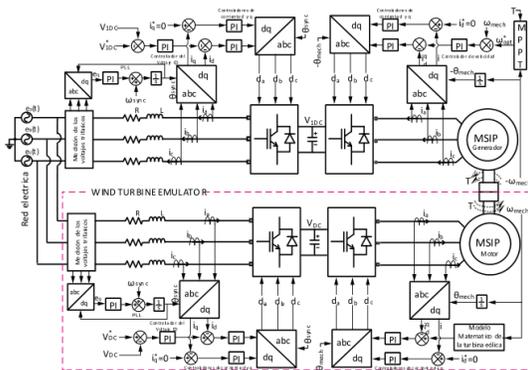


Fig. 2. Diagrama de control vectorial del SGE implementado.

A. Convertidor del lado de la máquina

El control vectorial de los convertidores 2 y 3 se logra utilizando el modelo del MSIP en marco de referencia *síncrono*, dado por [10]:

$$\mathbf{v}_{dq} = R_s \mathbf{i}_{dq} + L_s \frac{d\mathbf{i}_{dq}}{dt} + p\omega_m \mathbf{J}(L \mathbf{i}_{dq} + \Psi_{dq}) \quad (1)$$

donde \mathbf{v}_{dq} es el vector de voltaje del estator, \mathbf{i}_{dq} es el vector de corriente del estator, Ψ_{dq} es el vector de flujo del rotor, ω_m es la velocidad del eje mecánico, p son los pares de polos la máquina, R_s y L_s son la resistencia del estator y la inductancia por fase. El modelo mecánico MSIP, está dado por:

$$T_m - T_L = J \frac{d\omega_m}{dt} + f_v \omega_m \quad (2)$$

donde T_m es el par mecánico, T_L es el par de carga, J es la inercia y f_v es el coeficiente de fricción viscosa. El par mecánico T_m en función de las corrientes en el marco de referencia síncrono viene dado por:

$$T_m = p\omega_m \mathbf{i}_{dq}^T \mathbf{J} \Psi_{dq} \quad (3)$$

B. Convertidor del lado de la red

La fig. 3 muestra el diagrama del convertidor del lado de la red, el cual es programado para controlar la tensión en el Bus de CD y trabajar con factor de potencia (FP) unitario. Para aplicar control vectorial en este convertidor es necesario obtener los modelos matemático de la red y del Bus de CD. Aplicando un análisis de malla a la fig. 3 se obtiene:

$$\mathbf{v}_{abc} = R \mathbf{i}_{abc} + L \frac{d\mathbf{i}_{abc}}{dt} + \mathbf{e}_{abc} \quad (4)$$

donde R y L son los parámetros del filtro L, \mathbf{v}_{abc} es el vector de tensiones de salida del convertidor, \mathbf{e}_{abc} es el vector de tensiones de la red y \mathbf{i}_{abc} es el vector de corrientes de la red. Al aplicar la transformación de Park [11] a (4), se obtiene el modelo de la red en marco de referencia síncrono:

$$\mathbf{v}_{dq} = R \mathbf{i}_{dq} + L \frac{d\mathbf{i}_{dq}}{dt} + \omega_s L \mathbf{J} \mathbf{i}_{dq} + \mathbf{e}_{dq} \quad (5)$$

donde ω_s es la frecuencia de la red, dada en radianes por segundo y \mathbf{J} es una matriz de rotación [10]. El modelo del Bus de CD en función de las corrientes y voltajes de la red en el marco de referencia síncrono se obtiene al igualar la potencia activa de la red con la energía del Bus de CD [6], dado por:

$$v_{DC} i_g - v_{DC} C \frac{dv_{DC}}{dt} = \mathbf{e}_{dq}^T \mathbf{i}_{dq} \quad (6)$$

Donde v_{DC} es la tensión del Bus de CD, i_g es la corriente del generador, C es la capacitancia del Bus de CD, \mathbf{e}_{dq} es el vector de tensiones de la red y \mathbf{i}_{dq} es el vector de corrientes de la red. Al aplicar la aproximación de pequeña señal [6], se obtienen los modelos linealizados del Bus de CD de pequeña señal, que están dadas por (7) y (8) respectivamente:

$$V_{DC} C \frac{dv_{DC}}{dt} - I_g v_{DC} = -V_{LL} i_d \quad (7)$$

$$V_{DC} \mathbf{I}_g = \mathbf{E}_d \mathbf{I}_d + \mathbf{E}_q \mathbf{I}_q \quad (8)$$

donde \mathbf{I}_q y \mathbf{E}_q son mantenidas en cero para lograr PF unitario. La ecuación 7 se utiliza para controlar la tensión del Bus de CD.

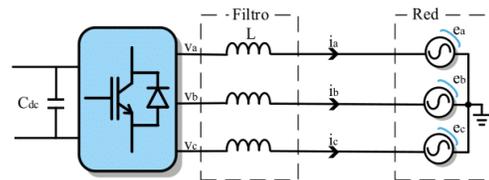


Fig. 3. Diagrama del convertidor del lado de la red.

B. Algoritmo MPPT perturbar y observar

El MSIP que actúa como generador es controlado por el convertidor 2 (ver fig. 2). En este convertidor se programan dos algoritmos MPPT diferentes en este artículo. El primer algoritmo es una variante del algoritmo perturbar y observar (P&O), cuyo diagrama de flujo se muestra en la figura 4. Este algoritmo se basa en la medición de la potencia instantánea. Una vez que se mide la potencia, se realiza una variación de velocidad de $\Delta\omega_m$, como se muestra en el diagrama de flujo de la fig. 4, se esperan Δt segundos y se mide nuevamente la potencia instantánea. Este proceso se repite continuamente hasta alcanzar la maximización de la energía eólica extraída.

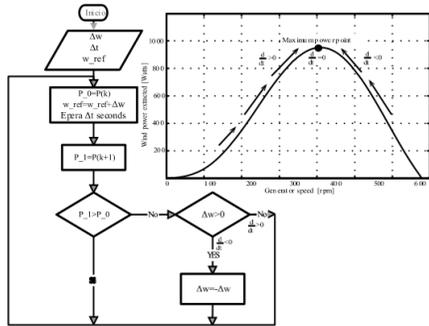


Fig. 4. Diagrama de flujo del algoritmo MPPT P&O.

B. Algoritmo MPPT Newton Raphson

El segundo algoritmo se basa en la estimación del par aerodinámico T_a , que se utiliza para calcular la velocidad del viento resolviendo el modelo no lineal de la turbina eólica [5]:

$$T_a = \frac{1}{2\omega_m} \rho \pi r^2 v_v^3 C_p(\lambda) \quad (9)$$

donde r es el radio del rotor, ρ es la densidad del aire, v_v es la velocidad del viento y λ es la relación de velocidad de la punta definida como $\lambda = \omega_m r / v_v$, con ω_m como la velocidad del eje del generador. El par aerodinámico T_a es visto como un par de carga T_L por el generador. Por lo tanto, es posible estimarlo utilizando el modelo MSIP dado por (3). Este par se utiliza en el cálculo de la velocidad del viento mediante la resolución de (9). El algoritmo de Newton Raphson se ha elegido para este fin debido a su convergencia cuadrática [12]. Se ha elegido un modelo polinomial de séptimo grado [5] para emular el SGE. El modelo explícito utilizado viene dado por:

$$\text{maximize} \quad \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v_v^3 C_p(\lambda) \quad (10)$$

donde $C_p(\lambda)$ es el coeficiente de potencia de la turbina eólica. En (10) todos los parámetros son conocidos excepto el coeficiente de potencia. Por lo tanto, el problema se reduce a:

$$\text{maximize} \quad C_p(\lambda) \quad (11)$$

Una vez que se obtiene la relación de velocidad de punta óptima (λ_{opt}) de (11), la velocidad óptima ω_{opt} se calcula de la siguiente manera:

$$\omega_{opt} = \frac{\lambda_{opt} v_v}{r} \quad (12)$$

En la Fig. 5 se muestra el diagrama del estimador de velocidad del viento utilizado para maximizar la conversión energía eólica.

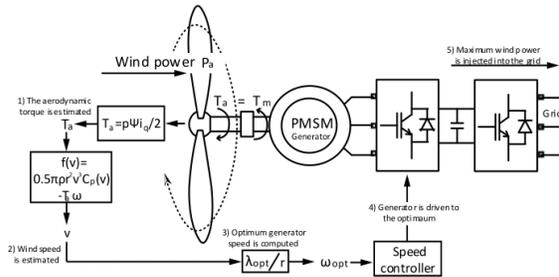


Fig. 5. Algoritmo MPT del estimador de velocidad del viento.

Para asegurar la convergencia del algoritmo iterativo de Newton Raphson, el punto inicial debe estar lo suficientemente cerca de la solución real [12]. En el algoritmo MPPT propuesto la última estimación de la velocidad del viento se utiliza como punto inicial para la siguiente estimación. Por lo tanto, no es necesaria ninguna modificación de convergencia. Además, solo se realiza una iteración por estimación, ya que las estimaciones se calculan a la frecuencia de conmutación de los convertidores, que en este caso es de 10 kHz. Esto es más rápido que cualquier cambio de velocidad del viento, por lo que se asegura que el punto inicial para las estimaciones reales se estarán lo suficiente como para asegurar la convergencia. Estas consideraciones hacen que este algoritmo MPPT sea computacionalmente eficiente. Las estimaciones de velocidad del viento se dan resolviendo:

$$f(v_v) = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v_v^3 C_p \left(\frac{\omega_m r}{v_v} \right) - T_a \omega_m \quad (13)$$

utilizando el algoritmo de Newton Raphson, dado como:

$$v_{k+1} = v_k + \frac{f(v_k)}{\left. \frac{df}{dv} \right|_{v_k}} \quad (14)$$

III. MODELO DE SIMULACIÓN

El modelo de simulación del SGE es mostrado en la fig. 6, donde los convertidores están numerados de la misma manera que en la fig. 2. De la biblioteca Simscape de Matlab/Simulink se toman los modelos de los MSIP. Cada convertidor utilizado en el sistema es un convertidor conmutado de dos niveles, y está compuesto por 6 IGBT. Los parámetros de los MSIP, los filtros L y el emulador de turbina eólica se toman de un sistema real. Dichos parámetros son presentados en la Tabla I.

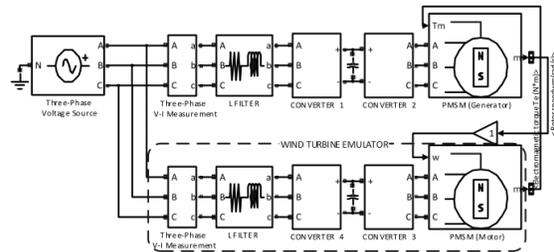


Fig. 6. Diagrama de simulación.

Table 1. Parámetros del Sistema de control.

PMSM PARAMETERS			
Parameter	Value	Units	Description
p	4		Pole pairs
ω_{rat}	2000	[rpm]	Rated speed
T_{rat}	36.9	[Nm]	Rated torque
K_e	85.5	[V/krpm]	Voltage constant
J	86.4	[kgcm ²]	Inertia
R_s	0.15	[Ω]	Stator resistance
L_s	2.5e	[mH]	Stator inductance
P_{rat}	7.73	[kW]	Rated power
Ψ	0.1667	Wb	Rated flux
f_v	7.1405e-5	Kgm ² /s	Viscous friction
V_{DC}	300	[V]	DC link voltage
BEMF OBSERVER GAINS			
K_p	-20		Proportional gain
K_i	-5000		Integral gain
DE_{error}	100		Expected error
CURRENT CONTROLLER GAINS			
w_{ci}	250	[Hz]	Corner frequency
PM_f	60	[deg]	Phase margin
k_{pfi}	3.326		Proportional gain
k_{ifi}	3288.304		Integral gain
SPEED CONTROLLER GAINS			
$w_{\omega o}$	10	[Hz]	Corner frequency
PM_{ω}	60	[deg]	Phase margin
$k_{p\omega}$	1.229		Proportional gain
$k_{i\omega}$	44.293		Integral gain
PLL GAINS			
w_{C_PLL}	30	[Hz]	Corner frequency
PM_{PLL}	60	[deg]	Phase margin
k_{PLL}	1.229		Proportional gain
k_{iPLL}	44.293		Integral gain

Se ha elegido un modelo polinomial de séptimo grado [5] para emular la turbina eólica, el cual está viene dado por:

$$Cp(\lambda) = 0.0015\lambda - 0.0022\lambda^2 + 0.0052\lambda^3 - 5.1425 \times 10^{-4}\lambda^4 - 2.795 \times 10^{-5}\lambda^5 + 4.6313 \times 10^{-6}\lambda^6 - 1.331 \times 10^{-7}\lambda^7 \quad (15)$$

Esta ecuación tiene un máximo en $\lambda_{opt} = 8.18$, la cual es constante para todas las velocidades del viento. Por lo tanto, se puede utilizar para maximizar la energía eólica extraída para cualquier velocidad del viento.

IV. RESULTADOS

Los parámetros utilizados en la simulación se enumeran en la Tabla I. Las simulaciones se dividen en tres partes: ráfaga de viento constante, ráfaga de viento aleatoria y barrido de parámetros turbina eólica. Cada simulación se realiza durante 35 segundos y los resultados se muestran a continuación.

A. Escalones de viento

La forma más sencilla de simular una ráfaga de viento es mediante un valor constante. Por lo tanto, se propone utilizar escalones de viento con incrementos de 1 metro por segundo, como se muestra en la fig. 7(a). Para reducir la tensión mecánica del generador, se usa un filtro de primer orden, como se muestra en la figura 7(b), como controlador de velocidad con dos grados de libertad. Las simulaciones de ambos algoritmos MPPT se realizan haciendo uso de la MATLAB. La configuración es la misma para ambos algoritmos, y los resultados se comparan a continuación. En la Fig. 8(a) se muestran las curvas de potencia características del modelo de turbina eólica elegida. y la

potencia extraída del viento en función de la velocidad del generador. Aquí se observa cómo el algoritmo propuesto realiza el cálculo de la velocidad óptima del generador, mientras que el algoritmo P&O oscila alrededor de la velocidad óptima del generador. En la Fig. 8(b) se muestran las curvas de par aerogenerador del modelo de la turbina eólica elegida función de la velocidad del generador.

Se observa que el algoritmo P&O produce oscilaciones mecánicas en el generador, esto es una desventaja ya que acorta la vida útil del sistema. En contraste, el estimador de la velocidad del viento lleva al generador a la velocidad óptima de manera suave, mostrando un rendimiento superior.

La fig. 9(a) muestra la velocidad real y estimada del viento, obtenida por el uso del estimador de la velocidad del viento y el algoritmo P&O. La curva negra representa los escalones de viento, utilizados por el modelo de la turbina eólica, la curva roja es la estimación del viento obtenida del algoritmo de Newton Raphson y la curva azul es una estimación del viento obtenida del algoritmo P&O. La estimación de la velocidad del viento P&O se obtiene utilizando la velocidad del generador y la relación (12).

La fig. 9(b) muestra la eficiencia del SGE, entre la potencia de entrada del emulador eólico y la potencia de salida del generador eólico. Observe cómo la eficiencia de P&O es ligeramente inferior en comparación con el estimador de velocidad del viento.

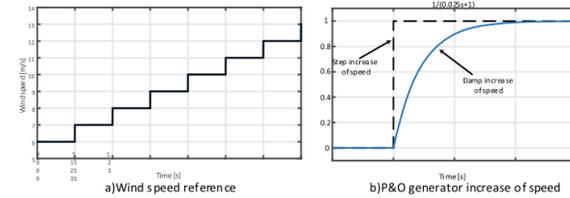


Fig. 7. Señales de prueba del Sistema.

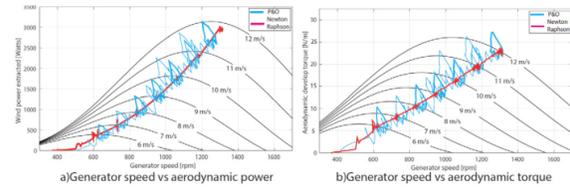


Fig. 8. Comparación del desempeño de los algoritmos MPPT.

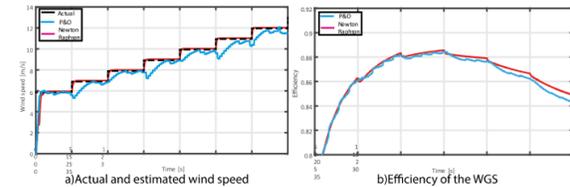


Fig. 9. Estimación de la velocidad del viento y la eficiencia del sistema.

B. Rafagas de viento con ruido Gaussiano

El uso de rafas en forma de escalones de valor constante es una forma bastante simple de simular el al viento. El viento es un proceso estocástico, por lo que, para simular una situación más realista en la que los algoritmos MPPT se desempeñaran, una señal de ruido gaussiano con valor promedio cero es considerado, como se muestra en la fig. 10(a). La nueva referencia de viento se muestra en la fig. 10(b). Esta referencia de velocidad del viento se usa como en las siguientes simulaciones. Los resultados se muestran a continuación.

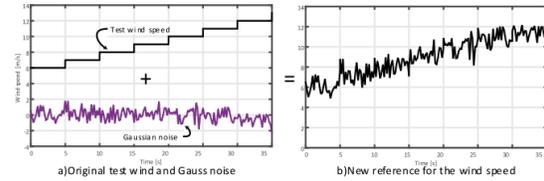


Fig. 10. Adición de ruido Gaussiano

La fig. 11(a) muestra las curvas características de potencia de la turbina eólica (en negro) y la potencia extraída del viento en función de la velocidad del generador. En rojo se muestra la trayectoria del estimador de velocidad del viento y azul la trayectoria del algoritmo P&O. Es importante tener en cuenta que el estimador de la velocidad del viento funciona en estas condiciones de viento, lo cual se debe a que el algoritmo utiliza la velocidad del viento estimada para calcular la referencia de óptima del generador para el controlador de velocidad del SGE. Por lo tanto, a medida que cambia el punto de máxima potencia (la velocidad del viento aumenta o disminuye), el generador sigue estos cambios casi de inmediato. Observe cómo el algoritmo P&O no funciona correctamente bajo cambios repentinos de la velocidad del viento, esto se debe a que la velocidad del generador está programada para cambiar en pasos constantes, lo que hace imposible que el generador siga el punto de máxima potencia, ver fig. 11(a). El problema del algoritmo P&O con las oscilaciones mecánicas se incrementa con condiciones de viento aleatorias, como se muestra en la fig. 11(b). La estimación de la velocidad del viento para los dos métodos MPPT y su eficiencia se muestran en la fig. 12.

La fig. 12(a) muestra la estimación de la velocidad del viento utilizando el algoritmo de Newton Raphson (en rojo). Se observa que esta estimación es precisa, por lo que estima con precisión la referencia de la velocidad del viento utilizada en la simulación (en negro). La curva azul en la fig. 12.a muestra la estimación de la velocidad del viento obtenida del algoritmo P&O. Aquí está claro por qué este algoritmo no pudo alcanzar el punto óptimo (como se ve en la figura 11).

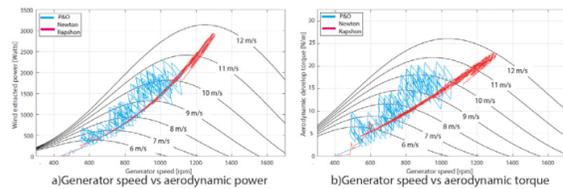


Fig. 11. MPPT algorithms performance under random wind speed.

Esto muestra que el algoritmo P&O no funciona bien con cambios rápidos de velocidad del viento.

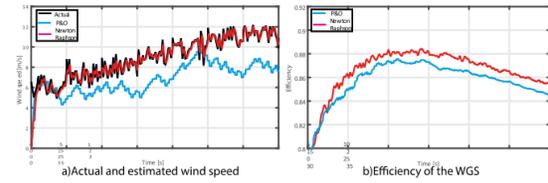


Fig. 12. Wind speed estimation and efficiency.

C. Analisis de Sensibilidad de parametros

Hasta ahora, los resultados obtenidos indican que el cálculo de la velocidad óptima del generador usando el estimado de Newton Raphson es una excelente alternativa, ya que tiene una buena precisión y no tiene ningún problema en estimar la velocidad del viento durante una condición de viento real, como se muestra. en la Fig. 12.

Dado que es necesario predecir el rendimiento y la robustez del algoritmo propuesto en un sistema real, en esta sección se analizan algunas incertidumbres de los parámetros. Esto se hace variando la resistencia del estator del generador (que varía con la temperatura), la densidad del aire (que varía con las condiciones climáticas) y el flujo magnético de los imanes permanentes (que varía con el envejecimiento). El barrido de parámetros se realiza varias utilizando Matlab. Primero se presenta el barrido de resistencia del estator, luego el barrido de flujo magnético y finalmente se presenta el barrido de densidad del aire.

La fig. 13(a) muestra el estimador de velocidad del viento obtenido bajo el barrido de resistencia del estator para valores del 40% al 180% de su valor nominal. Se observa que la incertidumbre en la resistencia del estator no influye en la estimación de la velocidad del viento. Al hacer un acercamiento, se observa que las variaciones en la estimación de la velocidad del viento son insignificantes, como se muestra en la fig. 13(b). Los resultados obtenidos del barrido de flujo magnético se muestran en la fig. 14. La fig. 14(a) muestra las estimaciones de la velocidad del viento para los valores de flujo magnético de 70% a 140% sobre su valor nominal. Observe cómo las estimaciones se ven afectadas por esta incertidumbre. El problema aquí es que la estimación del par se obtiene usando (4), que es directamente proporcional al flujo magnético. Un acercamiento, mostrado n la fig. 14(b), muestra que se obtiene un error de $\pm 11\%$ en las estimaciones de velocidad del viento en estas condiciones.

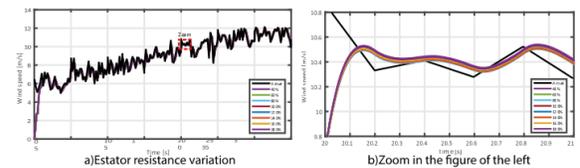


Fig. 13. Resultados del barrido de la resistencia del estator.

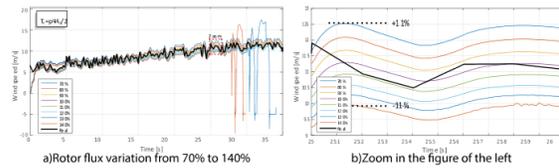


Fig. 14. Resultados barrido del flujo magnético del rotor.

La pérdida de la controlabilidad del sistema se observa en la fig. 14(a) para valores de flujo magnético por encima del 130%. El problema es causado por el alto valor de la FEM a altas velocidades. La incertidumbre de la densidad del aire es la parte más crítica del algoritmo MPPT propuesto, ya que este parámetro variará con las condiciones climáticas. Los resultados obtenidos del barrido de densidad del aire se muestran en la fig. 15(a). Los errores de estimación de la velocidad del viento se deben a que las estimaciones de la velocidad del viento dependen del modelo matemático de la turbina eólica, y este modelo es directamente proporcional a la densidad del aire. Se observa que la incertidumbre en la densidad del aire afecta más a altas velocidades del viento. Se aplica un acercamiento a la fig. 15(a) se muestra en la fig. 15(b). Aquí es importante tener en cuenta que solo se obtiene un $\pm 13\%$ de error en las estimaciones de velocidad del viento.

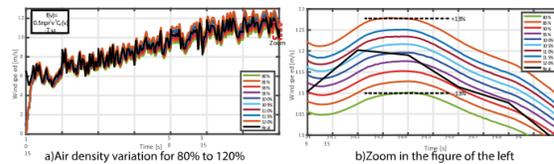


Fig. 15. Resultados del barrido de la densidad del viento.

V. CONCLUSIONES

Las simulaciones realizadas en este artículo mostraron que el algoritmo propuesto basado en las estimaciones de la velocidad del viento es una gran alternativa como el algoritmo MPPT, ya que aprovecha la relación lineal que existe entre la velocidad del viento y la velocidad óptima del generador WT (el generador Velocidad del eje que maximiza la extracción de la energía eólica). El cálculo de la velocidad del viento fue preciso y el cálculo óptimo de la velocidad del generador WT también fue preciso. Esto es consecuencia de la relación entre ellos.

El punto de máxima potencia fue seguido precisamente por el algoritmo, extrayendo la energía máxima posible de la energía total disponible en el viento como se muestra en la fig. 8 y 11. Al utilizar estimaciones de la velocidad del viento, se evitan las oscilaciones mecánicas (como se muestra en las figuras 8 y 11). De esta manera, se prolonga la vida útil del sistema, lo que garantiza una reducción del costo total del sistema en general. Es necesario realizar algunos trabajos para que el algoritmo MPPT propuesto sea robusto (y, por lo tanto, aplicable a un sistema real), como se muestra en el flujo magnético y el barrido de densidad del aire que se muestra en la fig. 14 y 15. En [10] se propone un observador de modo deslizante, que es robusto para cierta clase de incertidumbre y estamos estudiando la posibilidad de sus aplicaciones en el algoritmo propuesto.

Existen modelos matemáticos que incluyen la variación de la densidad del aire como la presentada en [14], desafortunadamente no hemos encontrado una manera de aplicarlos.

REFERENCIAS

- [1] C. Joanne, Y. Hui, B. Alireza, K. Praveen, Maximum Power Point Tracking Control of IPMSG Incorporating Loss Minimization and Speed Sensorless Schemes for Wind Energy System, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 52, No. 2, March/April 2016. pp. 1092-1012.
- [2] C. Giorgio, Wind energy scenarios for 2030, A report by the European Wind Energy Association (EWEA) - August 2015.
- [3] M. Nasir, P. Nirav, Maximum Power Point Tracking of Variable Speed Wind Turbines With Flexible Shaft, *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 7, No. 3, July 2016. pp. 956-965.
- [4] C. Joanne, Y. Hui, B. Alireza, K. Praveen, An Energy Management Scheme With Power Limit Capability and an Adaptive Maximum Power Point Tracking for Small Standalone PMSG Wind Energy Systems, *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 31, No. 7, July 2016. pp. 2861-4875.
- [5] V. Reyes, J. J. Rodriguez, O. Carranza Castillo y R. Ortega, Review of mathematical models of both the power coefficient and the torque coefficient in wind turbines, 24th IEEE International Symposium on Industrial Electronics ISIE, Brasil, 2015.
- [6] R. Cariveau, Fundamental and advanced topics in wind power, Croatia, InTech, 2011, Pag 291-305.
- [7] M. Carmela, M. Pucci, Induction-Machines-Based Wind Generators With Neural Maximum Power Point Tracking and Minimum Losses Techniques, *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 63, No. 2, February 2016. pp. 944-955.
- [8] J. Chen, T. Lin, C. Wen, and Y. Song, Design of a Unified Power Controller for Variable-Speed Fixed-Pitch Wind Energy Conversion System, This article has been accepted for publication in a future issue of this journal, but has not been fully edited. Content may change prior to final publication. Citation information: DOI 10.1109/TIE.2016.2547365, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*
- [9] R.M. Linus and P. Damodharan, Maximum power point tracking method using a modified perturb and observe algorithm for grid connected wind energy conversion systems, *IET Renew. Power Gener.*, vol. 9, no. 6, pp. 682689, Aug. 2015.
- [10] G. Alain, M. Jess, Sensorless AC Electric Motor Control, Robust Advanced Design Techniques and Applications, Springer International Publishing Switzerland 2015, pp. 22.
- [11] N. Mohan, *Advanced Electric Drives. Analysis, Control, and Modeling Using MATLAB*, USA, Wiley, 2014, pp. 34, 35.
- [12] N. Andreasson, A. Eygrafov, M. Patriksson, An Introduction to Continuous Optimization, Goteborg, Studentlitteratur, 2005. Pag 267-302.
- [13] L.G.Gonzales,E.Figueroa, Maximum power point tracking with reduced mechanical stress applied to wind energy conversion systems, *Applied Energy*;vol.87, pp. 2304-23012, 2010.
- [14] G. Ciulla, V. Di Dio, D. La Cascia, V. Lo Brano, F. Montana, Effects of the air density value on a wind generator electricity production capability, 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2016, pp. 1-5

Project Based Learning in the Classroom: Application in a Computer Science Undergraduate Degree, applied to a Computer Architecture Course

Sérgio Correia, L. F. Rodrigues, J. P. S. Carrondo

1st Sérgio D. Correia
COPELABS & IT-Coimbra & VALORIZA
ULHT & DEEC-FACTUC & IPP
Portugal
scoreia@ipportalegre.pt

2nd L. F. Rodrigues
VALORIZA
Instituto Politécnico de Portalegre
Portalegre, Portugal
luiz.rodrigues@ipportalegre.pt

3rd J. P. S. Carrondo
Departamento de Tecnologias
Instituto Politécnico de Portalegre
Portalegre, Portugal
joao.carrondo@gmail.com

Abstract—The present work describes the methodology of applying the theoretical principles of Project-Based Learning in the class room, for a single unit, Computer Architecture, in a undergraduate degree of Computer Sciences. The course structure is contextualized through the methodology and the various contents are exposed with regard to Project-Based Learning. The several assessments, tools and projects, are described and framed within the scientific contents intended. To evaluate the performance, global assessments results, and the students settlement, a questionnaire was applied, at the end of the semester, to all involved students, showing promising outcomes. The main achievement obtained with this work, is the demonstration that project-based learning can be applied in a more confined way, to a single unit, with the advantages of a global graduation approach.

Index Terms—Pedagogy, Innovation, Project Based Learning, Computer Science, Computer Architecture

I. INTRODUCTION

The filling of the disconnections between taught materials and teaching methodologies, the skills and knowledge requested of engineers and scientists of different areas, in the XXI century, is increasing in the opinion of employers, education policies makers, teachers and pedagogues [1]–[3].

To face this problem, new student centred learning approaches are increasing, tried and adopted, in the last decades across a diversity of educational institutions and areas worldwide [4]. In the different fields of engineering Project Based Learning (PjBL) was the most adopted student centred, active learning approach, although the methodology is being tested and implemented in wide breadth of disciplines in different national and cultural contexts, including Media and Business Studies, Geography, Environmental Science, Social Sciences, Education, Information Technology, Sustainability, English as a Foreign Language, among others [5]–[11]. Among the technological courses, Electrical and Computer Sciences education through PjBL pedagogy's has received great attention in the last years [12]–[14].

Project-based learning (PjBL) is a constructive approach to instruction that helps students acquire higher level content knowledge, problem solving and social skills while solving real-life problems [11]. Students have to work together in

teams as project groups to solve a real-life project. The PBL approach aims at fostering student-centeredness and teamwork, enabling students to develop critical thinking and independent thinking, enhancing their problem-solving, management and communication skills, encouraging them to find information on their own, and enabling them to integrate prior knowledge and theory into practice for professional application [9].

Constructive learning implies to connect the learning materials to the real world, so that students can apply their prior knowledge and experiences to optimize learning in real-life situations. As such, learners actively construct knowledge by processing and integrating their newly learned knowledge with their prior knowledge [11]. Therefore, two essential ingredients of PjBL are: i) a real-world question or problem serves to organize and drive learning activities, and ii) these activities culminate in a final product (e.g.: an a concrete artefact such as a design, a model, a thesis, a computer simulation, etc.) [6] that addresses the driving question [12]. In fact, the culmination of the project is often a written report and/or oral public presentation describing the project methods and the final product [6].

By definition, PjBL is multi-disciplinary, close to professional reality and involves real-world, fully authentic tasks and settings. PjBL includes the creation of a product or performance, often takes a long period of time, and follows a thematic step wise process [15]. The principles of PjBL are aligned with the idea of learning by doing. The PjBL approach put an emphasis on learning activities which are long-term, interdisciplinary and student-centred. Teaching staff take an advisory rather than directory or management role [6]. Students should develop hard and soft skills that prepare them for the professional future, such as, collaborative (team) working, oral, written, and other communication skills. Self-motivation and ownership of the problem, solution and learning (preparing them for continuous long-life learning and flexibility to adapt to unexpected situations or incomplete and imprecise information), development of leadership, self-regulation, agency, commitment and competence, problem

solving, design process, and management abilities (e.g. time management, people management), development of reflective skills and creativity, in addition to technical competences are also of major importance [3], [6], [10].

A wide variety of practices are subsumed under the banner of PjBL. The extent of the project work within the teaching program does vary hugely, often depending on differing cultural and institutional context. In some cases, an entire university program or school curriculum is developed around PjBL, whereas in other instances PjBL is applied in isolated courses or, even, short projects are embedded within modules [3], [5], [7], [8], [10].

In this contribution, a case study of implementation of the PjBL approach in a module of Computer Architectures of a computer science graduation is presented. Details on project selection, development, and main achievements and students skills improvements are analysed and discussed.

II. UNIT FRAMEWORK AND METHODOLOGY

Computer Architecture is an Unit Module of the Computer Science Graduation, of the Polytechnic Institute of Portalegre. The unit comprises 7.5 ECTS (European Credit Transfer System), planned in the second semester of the first year. It comprises 30 hours of theoretical lectures, 15 hours of theoretical-practicals classes and 15 hours of laboratory practices.

A. Unit Framework

Over the years, a traditional approach has been implemented, where theoretical classes exposed the planned contents, theoretical-practical classes were focused on written assessments, and the laboratory practice focused in several small projects with practical implementations, aimed to demonstrate the theoretical contents. Since embedded systems constitute the main conductive line of the course, theoretical material spins around the AVR processor architecture, with the following items under scrutiny: (1) Embedded Systems and Applications; (2) AVR Processors Architecture; (3) Digital Inputs/Outputs; (4) Intel-Hex Protocol; (5) Interrupts; (6) Timers; (7) Communication Protocols; and (8) Analog Input/Output. The programming languages used are Assembly and ANSI C (American National Standards Institute).

Students attending the course on Computer Architecture have already acquired previous knowledge on digital systems and the programming languages, namely, sequential programming and basic data structures. Besides, students possess background in general sciences subjects, such as Physics, Maths and English (Fig. 1). The AVR architecture is present in several semiconductors from several manufacturers, and under diverse families of microcomputers. One of the most known example is the ATMEGA family, initially from ATMEGA manufacturer, nowadays, propriety of Microchip Corporation. The reason for the selection is the present work is the fact that it is used on the open hardware platform Arduino, also considered for assessments proposes and projects implementation due to its large community of users, which implies a

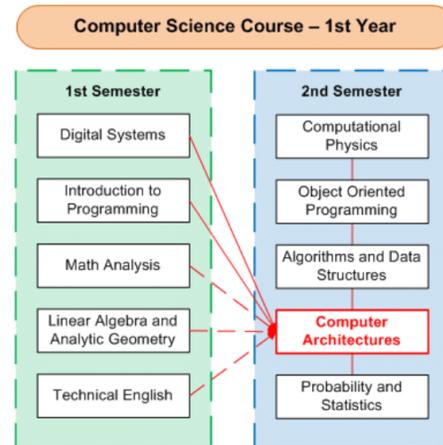


Fig. 1. Computer Science - 1st Year Plan

large source of information, open hardware design and open software libraries.

B. Methodology

The use of the Arduino Platform is not new at teaching environments. Several examples of application can, indeed, be found in the literature [16]–[18]. In fact, some authors question and discuss the inconvenience of not using such platforms or similar [19], [20]. From undergraduate courses [21]–[23], to Computer Science graduations, several studies demonstrates that teaching with PjBL has numerous advantages: students are able to apply their technical knowledge, acquire practical skills in programming, get involved into team processes and understand, in some cases, even soft factors in project management [24]–[27].

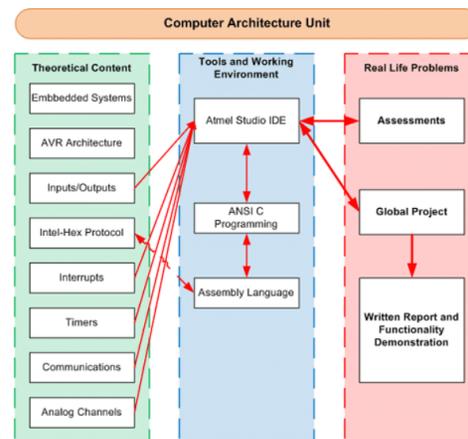


Fig. 2. Correlation between Syllabus, Tools and assessment modalities in the Computer Architecture Course

The case presented deals with application of PjBL methodology in single unit course, Computer Architecture, with the scientific content organized as presented in the schemata of Fig. 2 (green rectangle). The first two items, "Embedded Systems" and "AVR Architecture", introduce basic concepts with the intent of framing the unit and the architecture of processors to be studied. These contents requires some knowledge of digital systems and they are offered 4 hours lectures. The Atmel Studio Integrated Development Environment (IDE) is used and the programming languages (ANSI C and Assembly), are exposed combined with two gadgets that illustrates simple real life practical examples:

- Assessment 1 - Electrical Charge Activation (6h)

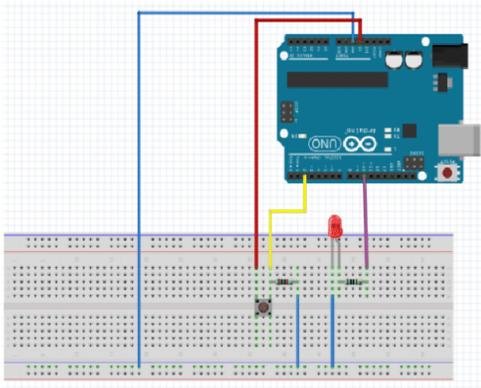


Fig. 3. Electrical Charge Activation

Purpose: Learn digital Input/Outputs configuration and use. Get the first contact with the software IDE.

- Assessment 2 - Temperature and Humidity Logger (6h)

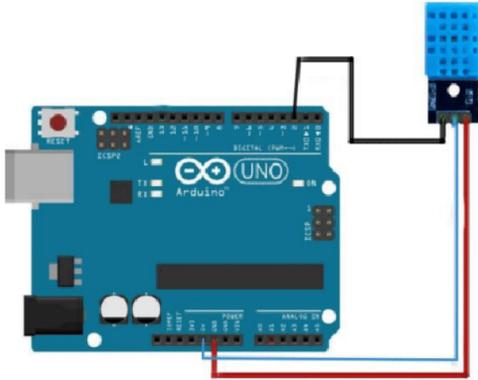


Fig. 4. Temperature and Humidity Logger

Purpose: Learn analog Input/Outputs configuration and its application. Get the first knowledge with the Assembly language through ANSI C cross-compiler.

At this stage, students have already gained a level of independence in terms of AVR architecture and tool usage, that allows them some freedom to use and test libraries with other types of peripherals. An increased understanding, while still incipient at this stage of the course, allows students to accept more complex challenges. From this point on, the final projects and their objectives are introduced and presented. Students are divided into groups where the number of elements is depend on the complexity of the problem attributed to the students. Every year, the projects are renewed, although the level of difficulty and the scientific issues are always the same. In the course of 2018/19 course, the following project were addressed:

- Project 1 Control of a robotic arm and development of a remote controller based on Bluetooth communication - Robotic manipulation has many application. In the present case, it is pretended to select piece that are supplied through a conveyor and placed in a rotating plate. For manual control, it is considered the need of a manual controller, with the availability to manipulate all arm axes.
- Project 2 Control of mobile robot with two traction motors with its trajectory based on a ground line - In order to supply small plates of food in social events, it is intended to develop a small robot that can follow a predetermined line.
- Project 3 Control of mobile robot with two traction motors for object avoidance based on ultrasound distance measurement - Similar to project 2, in this case the robots must navigate freely around participants of a social event and distribute small plates of food.
- Project 4 Wireless domotic controller with windows sensor and automatic adjustment of air conditioning through an Infrared Transmitter (IR) - It is known that human based control is fallible. This project intends to monitor the state of a window and automatically control air conditioning for efficient energy management.

The requirements of the projects statements, comes from real necessities of the school infrastructure and its daily operation. All projects must have as final product a written report, an user manual when considered as added value, or if the complexity of use justifies it, and finally, a usability demonstration (Fig. 2, red rectangle). At this stage, aspects like critical thinking, problem solving, collaboration, and various forms of communication skills are emphasized. At this stage also the preparation and role of the teacher in the classroom becomes crucial. Teachers roles include activities such as: discuss with the students about a concept or particular content; have them demonstrating their learning in small steps; guide students with small steps to complete the project; guide students to propose a detailed timeline on when things should be done for the project, and help students to navigate project among the group. Notice that all of their projects look eerily similar, almost like they were following a recipe. Matters

like motor control, Bluetooth communications, among other themes, are common to all projects.

III. CASE STUDY

The following results were obtained from the class of 2018/19, where 12 students attended the course and performed all assessments events. Figures 5 to 8 show the final results in terms of the hardware that was assembled. Considering all the proposed projects, all groups were succeed in attaining the envisaged skills and all projects succeed the functionality demonstration. It should be notice that, besides the specific scientific studies, students must be familiar with the hardware components and their interconnections. This fact certainly adds value, and experience, of dealing with this type of open hardware platforms. In relation to the mobile robots, prototypes were considered. To address the requested functionalities, it would be only necessary to adapt the robot with a plate platform and manage its center of gravity.

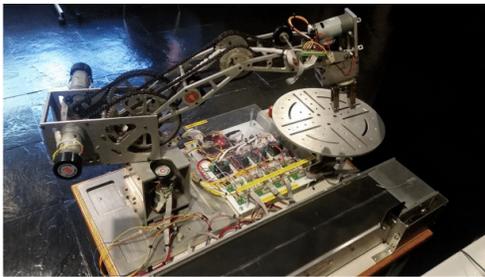


Fig. 5. Project 1 - Robotic Arm Controller



Fig. 6. Project 1 - Robotic Arm Remote Controller

To evaluate the performance and the students perceptions, a questionnaire was applied, at the end of the semester, to all involved students, 12 individuals. The platform used was Google Forms where the following 5 questions were presented to evaluate the different aspects related to the functioning of the course unit, within a scale from 1 (Strongly Disagree) to 5 (Strongly Agree):

- (1) I learned a lot from this project
- (2) I was challenged during the Project Development

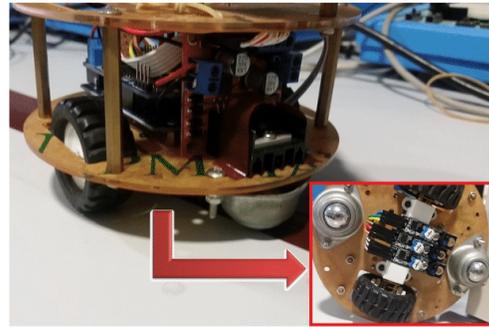


Fig. 7. Project 2 - Mobile Robot with Line Tracking

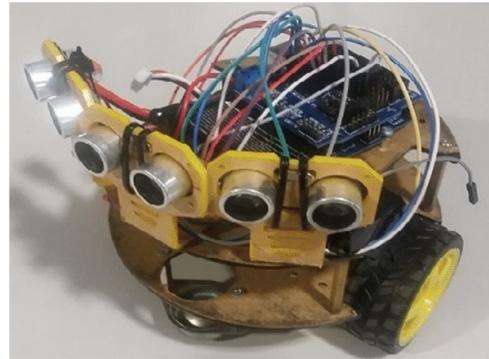


Fig. 8. Project 3 - Mobile Robot with ultrasound Measurement

- (3) The teacher taught me how to take initiative to solve the project
- (4) The teacher spent most of the classes giving theoretical lessons
- (5) The project proposed was within my competences

It should be noticed that question (4) acts as a validation mark, since a "good answer" corresponds to the inverse scale. This procedure is used as a measure of attentiveness with which answers are given, diagnosing random or automated filling.

TABLE I
QUESTIONNAIRE ANSWERS STATISTICS

Question	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Mean Value of Answers	4,00	4,17	4,58	2,67	4,00
Standard Deviation	0,98	0,81	0,37	0,98	0,74

Table I and Figure 9 presents the results of the questionnaire in terms of the mean value of the 12 answers and its standard deviation. As the results show, the methodology was assessed quite positively on all issues. Regarding the question that intended to analyze the students' perception to the merely theoretical exposition of contents, it can also be verified that

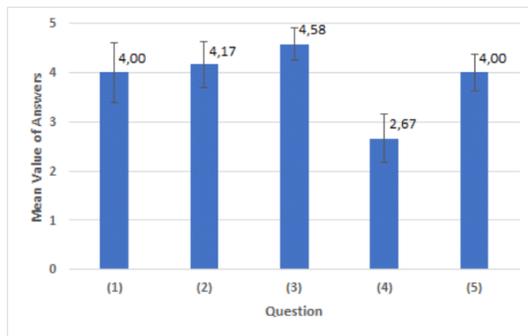


Fig. 9. Questionnaire Answers Statistics

they evaluated it in a possible way, that is, assigning a value noticeably at the middle of the scale. However, it is considered that this aspect could be worked on in the future, with more dynamic content exposure by the teacher.

IV. CONCLUSIONS

The present work describes the application of Project-Based Learning methodologies in a single unit course of Computer Architecture of an undergraduate degree of Computer Sciences. The methodology presented and the results obtained show that PjBL can be applied in a more restricted context, in a shorter period of time, for instance, in a course where the contents consider by the students are quite complex. In this case, due to low level programming, in a more general Computer Science themes. It was found that all students who attended the course unit, and performed all programmed assessments, granted a successful final result. Also in terms of acceptance of the methodology by the students, the results can be considered very satisfactory.

ACKNOWLEDGMENT

The present work was carried out at Instituto Politécnico de Portalegre, in the context of a Computer Science Bachelor Graduation. The authors are grateful for all the administrative and technical support necessary for the success of this work.

REFERENCES

- [1] H. A. Hadim and S. K. Esche, Enhancing the Engineering Curriculum through Project-Based Learning, 32nd Annual Frontiers in Education, Boston, MA, USA, 2002, pp. F3F-F3F.
- [2] J. E. Mills, D. F. Treagust, Engineering Education Is Problem-Based or Project-Based Learning the Answer?, Australasian journal of engineering education, Vol. 3, No. 2, pp. 2-16, 2003.
- [3] F. B. Silva, F. H. Sabbatini, M. B. de BARROS, Project-Based Learning in Civil Engineering Education: an Experience at the University of So Paulo, International Symposium on Project Approaches in Engineering Education, S. Paulo, 2012.
- [4] J. Davies, E. de Graaff, A. Kolmos, PBL across the disciplines, Aalborg University, 1st Ed., 2011.
- [5] X. Du, E. de Graff, A. Kolmos, Research on PBL in Engineering Education, Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers, pp. 35-44, 2009.
- [6] S. Palmer, W. Hall, An Evaluation of a Project-Based Learning Initiative in Engineering Education, European journal of Engineering Education, Vol. 36, No. 4, pp. 357-365, 2011.
- [7] N. Harmer, Project-Based Learning Literature Review, School of Geography, Earth and Environmental Sciences, Plymouth University, 2014.
- [8] L. F. Rodrigues, P. Brito, R. P. Valente, N. C. M. Farinha, A. C. C. Gomes, Aprendizagem baseada em projetos num ciclo de estudos de Tecnologias de Produção de Biocombustíveis, Coleção Estratégias de Ensino Superior Académico: Boas Práticas no Ensino Superior, Coimbra: CINEP/IPC, pp. 209-236, 2015.
- [9] C. L. Kwan, Findings from the implementation of Project-Based Learning in Civil Engineering Education, ERPA International Congresses on Education, 2015, Vol. 26, No. 1016.
- [10] K. Poonpon, Enhancing English Skills through Project-Based Learning, The English Teacher, Vol. XL, pp. 1-10, 2018.
- [11] J. C. C. Chen, "Designing Online Project-based Learning Instruction for EFL Learners: A WebQuest Approach", MEXTESOL Journal, Vol. 43, No. 2, pp. 1-7, 2019.
- [12] T. OMahony, G. Osuilleabhain, S. Cassidy, J. Connell, Project Based Learning The Student Voice, Proceedings of the AISHE-C 2010: Designing and Delivering Curricula for the Future, Dublin, Ireland.
- [13] A. Yadav, D. Subedi, M. A. Lundeberg, C. F. Bunting, Problem-Based Learning: Influence on Students Learning in an Electrical Engineering Course, Journal of Engineering Education, Vol. 100, No. 2, pp. 253-280, 2011.
- [14] J. M. N. de Oliveira, Nine Years of Project-Based Learning in Engineering, Revista de Docência Universitária, Vol. 9, No. 1, pp. 45-55, 2011.
- [15] I. Viksne, A. Brunner, M. Hammadi, K. Nordstrom, A. Laakonen, W. Van der Hoeven, S. Patalano, A. Melnikovs, A. Lanthony, A. François, EPICES: assessment Challenges of Problem and Project-Based Engineering Education, 44th SEFI Conference, 12-15 September 2016, Tampere, Finland.
- [16] O. A. Patiño, S. Contreras-Ortiz, J. C. Martinez-Santos, "Evolution of Microcontrollers Course under the Influence of Arduino", 14th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology, 20-22 July 2016, San José, Costa Rica.
- [17] P. Martn-Ramos, M. M. Lima da Silva, M. J. Lopes, M. R. Silva, "Student2student: Arduino Project-based Learning", 4th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality, November 02 - 04, 2016, Salamanca, Spain.
- [18] M. El-Abd, "A Review of Embedded Systems Education in the Arduino Age: Lessons Learned and Future Directions", International Journal of Engineering Pedagogy, vol. 7, no. 2, 2017.
- [19] P. Jamieson, "Arduino for Teaching Embedded Systems. Are Computer Scientists and Engineering Educators Missing the Boat?", 2011 International Conference on Frontiers in Education: Computer Science and Computer Engineering, Las Vegas.
- [20] P. Jamieson, J. Herdtnr, "More missing the Boat Arduino, Raspberry Pi, and small prototyping boards and engineering education needs them", 2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), El Paso, TX, pp. 1-6.
- [21] D. Karahoca, A. Karahoca, H. Uzunboylub, "Robotics teaching in primary school education by project based learning for supporting science and technology courses", 2011 Procedia Computer Science, vol. 3, pp. 1425-1431.
- [22] A. Price, R. Rimington, M. T. Chew, S. N. Demidenko, "Project-Based Learning in Robotics and Electronics in Undergraduate Engineering Program Setting", 5th IEEE International Symposium on Electronic Design, Test and Applications, 2010, Ho Chi Minh City, Vietnam.
- [23] J. K. Bada, M. Laamanen, E. Miito, "A Project-based Learning approach for teaching Robotics to Undergraduates", Makerere Journal of Higher Education, vol.5, no. 1, pp. 1-14, 2013.
- [24] R. Pucher, M. Lehner, "Project Based Learning in Computer Science - A Review of More than 500 Projects", Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 29, 2011, pp 1561-1566.
- [25] A. Martinez-Mones, E. Gomez-Sanchez, Y. A. Dimitriadis, I. M. Jorri-Abellan, B. Rubia-Avi, G. Vega-Gorgojo, "Multiple case studies to enhance project-based learning in a computer architecture course," in IEEE Transactions on Education, vol. 48, no. 3, pp. 482-489, 2005.
- [26] R. C. Hsu, W. Liu, "Project based learning as a pedagogical tool for embedded system education," 3rd International Conference on Information Technology: Research and Education, 2005, Hsinchu, Taiwan, pp. 362-366.
- [27] S. Fincher, M. Petre, "Project-based learning practices in computer science education," 28th Annual Frontiers in Education Conference.

Impacto de la Metodología de Innovación Holística en las competencias de creatividad de los estudiantes mentores del programa de reciclaje de Impulsa Perú

Isaac Zúñiga Aguilar

Profesor de la Escuela Profesional de Administración de la Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú. 0022843811

Abstract— This document show the alternative learning methodology for stimulate the holistic part of student's mind for achieve to increase of skill's innovation with manage the creatives competences and the level of stress. The present research study is pre experimental research design with previous and posterior measurement, longitudinal, explanatory and correlational, whose main objective will be demonstrate the effect of the holistic innovation coefficient of the beneficiaries of the Impulsa Perú Program. **Results of the program:** It has been concluded that there is significance of the experimental group over the control group. Therefore, the holistic innovation methodology that had an impact on the experimental group. **y Conclusions:** Hypothesis 1 is fulfilled in which it is affirmed that the holistic innovation methodology has a positive impact on the level of coefficient of holistic innovation of the mentor students of the women recyclers of the program drives Peru with a level of significance of 0.05%.

Keywords—*innovation, holism, stress (key words)*

1. Introducción

El fenómeno de la globalización incentivado por el internet es un proceso irreversible que ha permitido la difusión de las macrotendencias y su influencia en el vertiginoso cambio de comportamiento del ser humano en sus múltiples facetas de cliente como: la conectividad, el internet de las cosas, la inteligencia artificial, la personalización masiva, la preponderancia del diseño ante la producción, etc. (1) Según Xavier Ferras, “Paradójicamente, en el preciso momento en que nos damos cuenta, con más fuerza que nunca, que las fuerzas del cambio tecnológico y de la globalización de los mercados convulsionan el mundo y crean nuevos paradigmas económicos y competitivos, en el mismo momento en que el capitalismo como forma de organización económica y social se extiende inexorablemente por todo el globo terráqueo”. Y luego de esta afirmación podríamos citar a (2) China como un diferente orden económico pero con similares experiencias en los cambios tecnológicos que viene experimentando a nivel de innovación ubicándola por primera vez en el (3) ranking de innovación mundial. La innovación viene siendo la estrategia utilizada por muchos países para elevar las tasas de productividad y este efecto viene teniendo su efecto en la reducción de la pobreza según el (4) Banco Mundial, se ha reducido la pobreza de (42.2%) en 1981 a (10.7%) al 2013. Sin embargo, aún gran parte de población sigue viviendo sin acceso a la educación por falta de recursos. Por ello, que pasaría con el porcentaje de poblaciones en situación de pobreza que no han tenido acceso a una formación académica, ¿quedarían excluidos de innovar? y en consecuencia podría cerrarse la posibilidad de salir de la pobreza.. Para poder responder a esta pregunta deberíamos explorar las dos áreas del cerebro según Alejandro Schnarch (5) El hemisferio racional (izquierdo) y el hemisferio holístico donde se encuentran las emociones y los sentidos (derecho). Es por ello que si analizamos el comportamiento del ser humano tomando en cuenta el planteamiento de Robbins (6) podemos identificar la búsqueda de recompensas intrínsecas en tres aspectos como son: el aspecto cognitivo: La creencia de ser creativo, el autoconocimiento, la introspección, el pensamiento lógico – latera, la intuición – razón; el aspecto afectivo (automotivación elevada) y el aspecto de comportamiento que se relaciona con: Facilidad para formular problemas y concretar focos creativos, Búsqueda constante de ideas, Actitud transgresora, Actitud aventurera, Liderazgo creativo, Saber pensar de forma ingenua. Por otra parte, si complementaríamos para tener una visión integral con la búsqueda de recompensas extrínsecas podríamos identificar: Búsqueda de Reconocimiento, Búsqueda de Mejora de vida. Todas estas variables podrán impactar en el hemisferio holístico del cerebro y predisponer la capacidad del ser humano para innovar tomando en cuenta el nivel del estrés es capaz de impactar de forma positiva y/o negativa según coment Hunter y Tatcher (7) con respecto a las competencias creativas de cada persona. Es por ello que el ser humano es un ser con diversas inteligencias que responde al contexto donde se desarrolla y que producto de la interacción con este entorno logar desarrollar múltiples inteligencias como menciona Horward (8). El presente estudio de investigación propone una metodología mediante la cual se estimulan en tres fases las 16 competencias del coeficiente holístico de creatividad consideradas en Frank Ponti (1) y considera tres adicionales como nivel de estrés, búsqueda de reconocimiento y mejora de vida que se detallan en las siguientes según figura 1: a) nivel de estrés, b) creencia de ser creativo, c)

cutoconocimiento, d) introspección, mundo rico, e) pensamiento lógico – pensamiento lateral, f) intuición – razón, g) automotivación elevada (compromiso), h) facilidad para formular problemas, i) búsqueda constante de ideas, j) actitud transgresora, l) actitud aventurera, ll) liderazgo creativo, m) saber pensar de forma ingenua, n) búsqueda de reconocimiento, o) búsqueda de mejora de vida, p) nivel de innovación.

La fase inicial denominada “**fase de inspiración**” promueve en el participante las relaciones espaciales, la expresión artística, la creatividad y las emociones, sin afectar el nivel de estrés acentúa el nivel de inspiración, imaginación y mediante el cual se puede alcanzar el punto de dominio. En la “**fase de dominio**” el participante es estimulado a través del estrés de la competencia entre equipos sin embargo no se deja de conectar con la inspiración a través del taller de música que busca estimular el canto y música, la creatividad y las emociones. Según Levitin (9), “La música combina la dimensión temporal del cine y la danza con la dimensión espacial de la pintura y la escultura, sustituyendo el espacio tridimensional propio de las artes visuales por un espacio de alturas (o de frecuencias). La corteza auditiva ha llegado a desarrollar mapas de frecuencia que funcionan de manera análoga a los mapas espaciales de corteza visual”. Aún cuando en esta fase el nivel de estrés se utiliza como estimulador su efecto podría ser canalizado de forma positiva. Según Levitin (9) “Durante la Segunda Guerra Mundial, muchos prisioneros de campos de concentración alemanes escribieron poesía, compusieron música y pintaron-, según Victor Frankl, esas actividades daban sentido a la miserable existencia de aquellos muertos en vida. Frankl y otros autores han señalado que esta explosión de creatividad en circunstancias excepcionales no suele ser resultado de una decisión consciente para mejorar la vida o nuestra visión de las cosas por medio del arte. Al contrario, se presenta casi como una necesidad biológica, tan esencial como comer y dormir; de hecho, muchos artistas, cuando están abstraídos en su trabajo, se olvidan de las dos cosas. Es por ello que una forma de poner en evidencia que proceso de creación que ha tenido el proceso creativo es expresar con gráficos los nuevos conceptos y esto ocurre en la “**fase de diseño conceptual**”. Este proceso tiene su fundamento en que el ser humano tiene diferentes habilidades para comunicarse y aprenderse como son: las habilidades kinestésicas, habilidades auditivas, y las habilidades visuales según Richard Bandler y John Grinder (10).

- *Pregunta de investigación:*

¿Impactará la Metodología Holística de Innovación en el coeficiente de innovación holística en los estudiantes mentores en el programa de reciclaje de Impulsa Perú?

H1: La Metodología Holística de Innovación sí impacta en el coeficiente de innovación holística de los estudiantes mentores en el programa de reciclaje de Impulsa Perú.

H0: La Metodología Holística de Innovación no impacta en el coeficiente de innovación holística de los estudiantes mentores en el programa de reciclaje de Impulsa Perú.

2. *Material y métodos*

El presente estudio investigación es diseño investigación es pre experimental con medición previa y posterior, longitudinal, explicativo y correlacional, que tendrá como principal objetivo el demostrar el efecto de la metodología holística de innovación en coeficiente de innovación holística de los beneficiarios del programa Impulsa Perú.

A. Población:

Conformada por 120 alumnos del programa de estudios de Administración de la Universidad Privada Antenor Orrego de Perú, considerados como “mentores de Impulsa Perú” de 25 mujeres recicladoras de la Provincia Trujillo. Fuente: (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo y base de datos de alumnos seleccionados como mentores).

B Tamaño de la muestra:

Para calcular el tamaño de muestra se hizo uso de la fórmula para comparación de medias, empleando datos de un estudio piloto:

Alfa (Máximo error tipo I)	$\alpha =$	0.1%
$1 - \alpha/2 =$ Nivel de Confianza a dos colas	$1 - \alpha/2 =$	1.000
$Z_{1-\alpha/2} =$ Valor tipificado	$Z_{1-\alpha/2} =$	3.291
Beta (Máximo error tipo II)	$\beta =$	0.200
$1 - \beta =$ Poder estadístico	$1 - \beta =$	0.800
$Z_{1-\beta} =$ Valor tipificado	$Z_{1-\beta} =$	0.842
Varianza del grupo 1	$s_1^2 =$	64.00
Varianza del grupo 2	$s_2^2 =$	64.30
Diferencia propuesta	$x_1 - x_2 =$	17.60
Tamaño calculado de cada grupo	$n =$	7.07
Tamaño mínimo de cada grupo	$n =$	8

El tamaño mínimo de muestra encontrado fue de 8 sujetos del grupo experimental que fueron capacitados por la Metodología de innovación holística y 8 sujetos por grupo control que no fueron capacitados por la Metodología de innovación holística.

C. Ecuación

Se calculará el promedio del nivel de correlación de las 16 variables identificadas en el coeficiente de innovación holística en los estudiantes de la Universidad Privada Antenor Orrego en el pre test y pos test en el grupo experimental.

$$a + b + c + d + f + g + h + i + j + k + l + m + n + o + p = y \quad (1)$$

Se comparará el nivel de coeficiencia de innovación holística en el pre test y en el post test dentro del grupo experimental de los 8 alumnos ($y_1 > y_2$).

Se comparará el nivel de coeficiencia de innovación holística en el pre test y en el post test dentro de los 8 alumnos del grupo de control ($x_1 > x_2$).

Se comparará las diferencia en el coeficiencia de innovación holística ($y_2 - y_1$) con la diferencia en el coeficiente de innovación holística ($x_2 - x_1$).

3. Resultados

En el grupo experimental el impacto de las 16 variables identificadas en el (y) coeficiente de innovación holística de los estudiantes de las Universidad Privada Antenor Orrego se increment de un nivel de correlación promedio de 0.56 en el pre test a un nivel de correlación promedio de 0.66 en el pos test, es decir una diferencia de promedio de correlación de 0.10.

En el grupo experimental el promedio del nivel de coeficiente de innovación holística del pos test ($y_1 = 271$) es mayor que el pre test ($y_2 = 259$) con una diferencia de medias de 9.5.

En el grupo control el impacto de las 16 variables identificadas en el (y) coeficiente de innovación holística de los estudiantes de las Universidad Privada Antenor Orrego se incrementa de un nivel de correlación promedio de 0.60 en el pre test a un nivel de correlación promedio de 0.65 en el pos test, es decir una diferencia de promedio de correlación de 0.05.

En el grupo control el promedio del nivel de coeficiente de innovación holística del pos test ($x_1 = 239$) es mayor que el pre test ($x_2 = 238$) con una diferencia de medias de -2.13 .

La diferencia en el coeficiencia de innovación holística (y_2-y_1) en el grupo experimental es 7 mayor que la diferencia en el coeficiente de innovación holística (x_2-x_1) que es -5 .

Tabla 1: Resultados

Grupo	Variable	Corr.	Mediana	Media	DE	Mínimo	Máximo	p
Experimental (n=8)	Pre-test	0.56	270.00	264.88	26.05	219.00	298.00	
	Post-test	0.66	284.00	274.38	27.62	224.00	302.00	
	Diferencia	0.10	7.00	9.50	7.15	2.00	22.00	0.0454*
Control (n=8)	Pre-test	0.60	246.50	244.63	27.44	209.00	287.00	
	Post-test	0.65	246.00	242.50	24.10	210.00	278.00	
	Diferencia	0.05	-5.00	-2.13	8.51	-13.00	8.00	

*Test U-Mann Whitney entre grupo experimental y control; DE, desviación estándar.

4. Discusión

Para analizar los resultados de esta investigación podríamos tomar en cuenta las limitaciones que significa inferir con una muestra de 8 sujetos de investigación tanto en el grupo experimental como en el grupo de control. Es importante tomar en cuenta que en proceso de investigación, los sujetos de investigación fueron mitad mujeres y mitad hombres, con un promedio en promedio no sobresaliente y sin carga familiar que hayan decidido de forma voluntaria y desinteresada participar en el proyecto de mentoría con 25 mujeres recicladoras. El componente emocional del sujeto de investigación con el proyecto de reciclaje ha sido fundamental para ser considerado en la muestra de investigación. Es por ello que para evidenciar el criterio de conexión emocional se ha tomado en cuenta las asistencias al 100% de los sujetos de investigación a los talleres experimentales. Por otro lado, para cacular el tamaño de muestra se hizo uso de la fórmula para comparación de medias, empleando datos de un estudio piloto con 5 sujetos de investigación tomando en cuenta que en los grupos pequeños podrían ser más evidente detectar el impacto de la metodología de innovación holística.

El proceso de investigación constó de un pre test dode se evalúa el estado situacional del impacto de las diesiseis variables en el coefocoente de innovación holístico antes de ningún estímulo, con la aplicación de un cuestionario denominado “Cuestionario de coeficiente de innovación holística”. Posteriormente se realizan tres talleres como:

teatro, música y pintura combinados de forma proporcional con los cursos de: pensamiento sistémico, marketing para innovar y finanzas para implementar ideas innovadoras en las tres fases de la metodología que son: fase inspiración, fase dominio y fase de diseño. El arte se utiliza como una herramienta ponderosa para incentivar el autoconocimiento y la capacidad creativa en el participante estimulando el aspecto holístico del cerebro y el impacto en las dieciséis variables dentro de las que destaca el nivel de estrés que en el fase de inspiración no tiene participación y en lugar de ello se promueve ejercicios que acentúan el nivel de inspiración, imaginación y mediante el cual se puede llegar el punto de dominio, en la que el nivel de estrés desataca como catalizador al combinarse con la música que según Levitín “combina la dimension temporal del cine y la danza con la dimension especial de la pintura y la escultura, sustituyendo el espacio tridimensional propio de las artes visuals por un espacio de alturas”. Finalmente el taller de diseño estimula la conexión entre el aspect conceptual y las capacidades visuales para plasmar la idea innovadora. Posteriormente se aplicará un pos test que evaluará el nivel de impacto de las dieciséis variables con el que se identifica un nivel de scoring del coeficiente.

El presente estudio de investigación demuestra que estimulando el lado holístico del cerebro se puede alcanzar elevar el nivel de coeficiente de innovación holística predisponiendo al participante a una mayor capacidad creativa gestionando el aspecto emocional en el que impactan las dieciséis variables identificadas en el estudio en el que destaca el estrés como un factor que se recomienda mantenerse (nulo) evitando bloquear al participante antes de que alcance un nivel de inspiración que le permita alcanzar el máximo nivel de creatividad en el punto de dominio de donde el estrés podría ayudar a estimular el aspect creativo generando una sensación de placer en el participante.

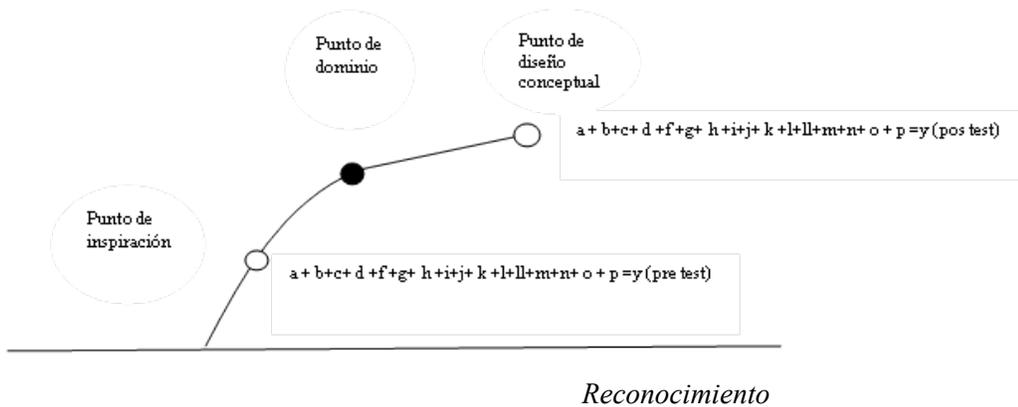
En el pre test el grupo experimental el coeficiente promedio de correlación fue de 0.56 más bajo que el nivel de coeficiente promedio de correlación del grupo control que result 0.60. Esto quiere decir que el nivel de coeficiente holístico de innovación tenía ligeramente más ventaja con respect a las dieciséis competencias que se midieron en los participantes que se encontraban en el grupo de control con respect a los participantes del grupo experimental. Sin embargo, en el post test el grupo experimental el coeficiente promedio de correlación fue de 0.66 más alto que el nivel de coeficiente promedio de correlación del grupo control que result 0.65. Esto quiere decir que el post test a registrado que en el grupo experimental se ha evidenciado un mayor incremento del nivel de correlación de las dieciséis variables aún cuando en el pre test su nivel de correlación era menor en el grupo experimental que en el grupo de control.

Del resultado de la aplicación de la Metodología de innovación holística se concluye un impacto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) en el grupo experimental mostrando mayor diferencia en las puntuaciones después de la aplicación del test, con puntuaciones promedio de 9.50 (DE=7.15) y -2.13 (DE=8.51) respectivamente (Tabla 1).

5. Conclusiones

Se concluye que se cumple la Hipótesis 1. La Metodología Holística de Innovación generó un impacto significativo de 0.05% en el coeficiente de innovación holística en los estudiantes mentores en el programa de reciclaje de Impulsa Perú.

Figura 1: Fases de la Metodología de Innovación Holística



Programa Impulsa Perú del Ministerio del Trabajo y Promoción del Empleo del Estado Peruano, alumnos del programa de Administración de la Universidad Privada Antenor Orrego, Profesor Marco Carruitero Honores, Profesor Francisco Tello Molina, Director de teatro de la Universidad Privada Antenor Orrego, Profesor Luis Benites Rodríguez, Director del Coro de la Universidad Privada Antenor Orrego, Profesor Angel Bocanegra Otiniano, Maestro Arturo Paredes Arteaga por su valiosa colaboración en el desarrollo de esta investigación.

Referencias

1. Ponti y Ferrás, "Pasión por Innovar", Editorial Norma, 2008, pp. 290.
 2. World Bank Data (2017)
 3. OMPI, Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, Nueva York 2018
 4. Alejandro Schnarch, "Desarrollo de nuevos productos y empresas", 2009, pp. 409.
 5. Peter M. Sengue, "La Quinta Disciplina", 1998, pp. 490.
 6. Robbins, "Síndrome de Burn Out: Estrés Fuera de Control".2004.
 7. Horward Gardner, "Inteligencia Reformulada", 2001, pp. 270.
 8. Hunter y Thatcher "Feeling the heat: Effects of Stress, Commitment, And Job Experince On Job Performance". (2007).
 9. Daniel J. Levitin. "El cerebro musical": Editorial RBA Libros, S.A.,2014, pp. 362
 10. Richard Bandler y Jhon Ginder, Neuro Programing Linguistic, 1970
1. IEEE conference templates contain guidance text for composing and formatting conference papers. Please ensure that all template text is removed from your conference paper prior to submission to the conference. Failure to remove template text from your paper may result in your paper not being published.

Simulation of a Billet Heating Furnace

Sérgio Costa, Isabel Malico, Daniel Santos, Miguel Barão, Teresa Gonçalves, Luís Rato, Paulo Canhoto,
Rui Lima, Sofia Oliveira, Paulo Fontes, Susana Cravo

Sérgio Cavaleiro Costa
Physics Department
Escola de Ciências e Tecnologia,
Universidade de Évora
Évora, Portugal
smcac@uevora.pt

Isabel Malico
Physics Department
Escola de Ciências e Tecnologia,
Universidade de Évora
Évora, Portugal
imbm@uevora.pt

Daniel Santos
Informatics Department
Escola de Ciências e Tecnologia,
Universidade de Évora
Évora, Portugal
dfsantos@uevora.pt

Miguel Barão
Informatics Department
Escola de Ciências e Tecnologia,
Universidade de Évora
Évora, Portugal
mjsb@uevora.pt

Teresa Gonçalves
Informatics Department
Escola de Ciências e Tecnologia,
Universidade de Évora
Évora, Portugal
tcg@uevora.pt

Luís Rato
Informatics Department
Escola de Ciências e Tecnologia,
Universidade de Évora
Évora, Portugal
lmr@uevora.pt

Paulo Canhoto
Physics Department
Escola de Ciências e Tecnologia,
Universidade de Évora
Évora, Portugal
canhoto@uevora.pt

Rui Pedro Lima
CC Energia – Auditoria e Consultoria
Energética
Santo António dos Cavaleiros, Portugal
pedro.lima@ccenergia.com

Sofia Oliveira
CC Energia – Auditoria e Consultoria
Energética
Santo António dos Cavaleiros, Portugal
sofia.oliveira@ccenergia.com

Paulo Fontes
Escola Superior de Tecnologia de
Setúbal,
Instituto Politécnico de Setúbal
Estefanilha, Portugal
paulo.fontes@estsetubal.ips.pt

Susana Cravo
Escola Superior de Tecnologia de
Setúbal,
Instituto Politécnico de Setúbal
Estefanilha, Portugal
susana.cravo@estsetubal.ips.pt

Abstract—This work presents the method developed in the scope of the “Audit Furnace” project to support the manufacturing industry in understanding the energy efficiencies of its furnaces and to identify strategies for the continuous improvement of its processes. A digital representation to support the development, calibration, and training of a physical-based reduced-order model for industrial furnaces is sought by integrating experimental data obtained in energy audits performed at several industrial units with detailed numerical results from computational fluid dynamics simulations of the furnaces. Composite models with two blocks, a physics-based reduced-order block, and a machine learning model block, are proposed in order to simultaneously achieve performance and flexibility in its adaptation to different furnaces, while keeping the computational load in acceptable levels. In this paper, preliminary results of the application of the

method to a billet heating furnace are presented, namely the results of the computational fluid dynamics simulations of the furnace and their comparison with the measurements performed in an energy audit. This is the first, essential step of the proposed method. The numerical results generated will allow calibrating and training the reduced-order model and will feed the machine learning model training process.

Keywords—energy efficiency, industrial furnaces, reduced-order models, CFD, machine learning

^a. INTRODUCTION

Energy audits offer the opportunity for companies to reduce their energy consumption and improve their competitiveness. This activity consists of measuring and analyzing the energy flows of a specific system in order to evaluate its performance with the aim of sustainably reduce the energy inputs and, thus, the operation costs. Among the systems targeted by energy audits are the

ones that involve industrial furnaces, which are important heating equipment that consume a large amount of energy and that have an important influence on the quality of the final product [1].

The work presented in this paper is part of the efforts of the “Audit Furnace” project to develop a physics-based reduced-order model (ROM) that enables fast analysis of the combustion, fluid mechanics and heat transfer processes that occur inside industrial furnaces. This model will help to assess the impact of energy efficiency measures of furnaces and, in this way, assist the work done during energy audits. To be able to develop a useful tool that can be applied to a sufficiently wide range of furnace geometries with a high degree of accuracy, the ROM will be fine-tuned with the help of measurements and detailed Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations of selected furnaces. A composite model with two blocks, the physics-based ROM referred previously, and a machine learning model (MLM) block, will also be tuned (trained) with the help of a detailed CFD dataset generated by simulations of selected furnaces.

The primary objective of this paper is to describe the method developed within the scope of the “Audit Furnace” project, presenting preliminary results for an industrial billet heating furnace.

^bMETHOD

As already said in the introduction, the fine-tuning of the ROM will be done using CFD simulations and real measurements. So far, four distinct industrial furnaces were selected, audited and are being simulated with the use of CFD models. Each furnace has its challenges and specificities as far as the CFD simulations are concerned; therefore, the CFD model has to be adapted to each furnace and is not universal. Generically, the 3D differential ensemble averaged conservation equations of mass, momentum, energy and mass of chemical species are solved. Combustion is treated as an irreversible reaction and radiation is taken into account. The commercial software FLUENT – v19 is used to perform the simulations [2]. In this paper, CFD simulations for one of the industrial furnaces audited, a billet heating furnace will be presented. Turbulence is modelled with a RANS (Reynolds-averaged Navier Stokes) approach and the realizable k - ϵ model [3] and a near wall model. Combustion is modelled by combination of the finite rate and the eddy-dissipation models [4], while a conservative variant of the discrete ordinates method [5-7] is used to describe radiation.

CFD simulations are very detailed and able to provide very useful information about the structure of the flow and heat transfer inside the furnaces; however, they are complex and very computationally intensive. As a consequence, it is difficult to use them expeditiously in the context of energy audits. On the

other hand, the use of physics-based reduced-order models allows shorter response times. Although the fact that they do not consider all the physical complexity involved, ROMs are simpler and less computationally intense. Reduced-order models are based on the division of the furnace into a relatively small number of zones and on solving energy and mass balances for each of these zones. In the ROM implemented in this work, the combustion process is modelled considering the complete combustion of the fuel in a single step reaction, which allows determining the energy released in the furnace and the composition and temperature of the combustion gases according to the stoichiometry of the reaction, taking into account the excess air present. The dependence of the gas properties with temperature is considered. The heat transfer by convection is modelled using existing correlations in the literature for simple geometries, while the heat transfer by thermal radiation inside the furnace is modelled with the zone method. The solution of the resulting system of non-linear equations allows obtaining the average temperatures of the combustion gases and billets, flow rates and transferred energy in each zone as a function of the operating conditions of the furnace.

The ROM will not produce detailed results of the flow nor of the heat transfer inside the furnace and its accuracy is expected not to be high (so far, the reduced-order model results have not been compared to measurements). On the other hand, models based on machine learning techniques such as, support vector machines [8,9], and neural networks [10] allow to complement and improve the accuracy of reduced-order model results with potentially nonlinear models aiming to compensate for interferences such as geometry variation and/or operating conditions. This corresponds to a composite (physics-based ROM plus black-box) mathematical model.

In parallel to the three types of models described above (CFD, reduced-order and machine learning models), a simplified empirical model of the furnace was developed. This model allows determining the global heat fluxes from the combustion gases to the material being processed and the heat losses of the furnace to the environment. The model will be integrated within the reduced-order model and will allow increasing its accuracy since it will complement the information of the ROM with data of the simplified empirical model obtained in real operating conditions.

^cFURNACE DESCRIPTION

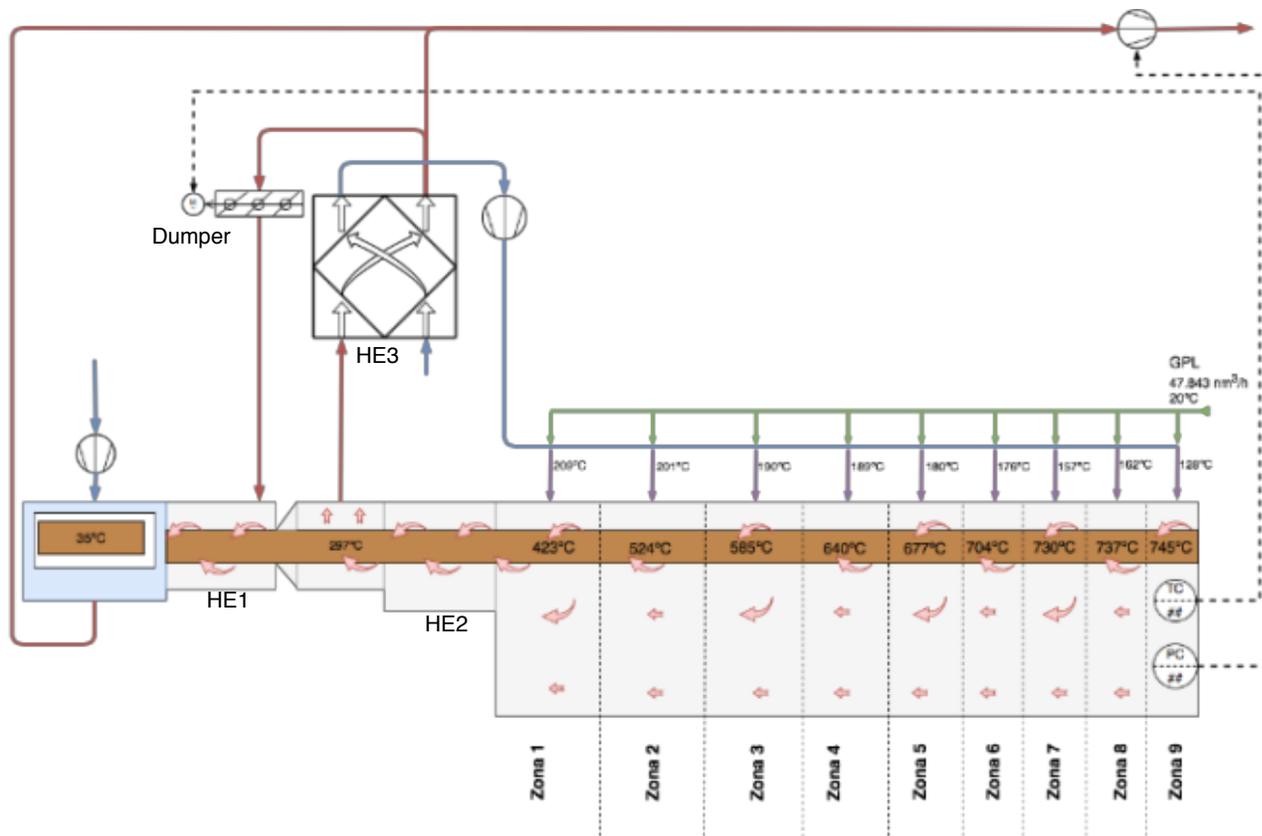
The method described in the last section is being tested through its application to the first of several furnaces that will be analyzed within the project. This furnace is, so far, the one that has more results. It is a linear propane furnace used to heat metal parts, known as billets, to a temperature of approximately 700 °C, and thus preparing them for extrusion. The billets, produced

in a melting furnace, have a variable composition and are in the shape of a cylinder.

The furnace is composed of two main zones: a billet preheating zone and a combustion zone (the latter is divided into 9 sub-zones). Immediately after entering the furnace, the billets are preheated by the combustion gases that flow in counter-current to the billets in their way out of the furnace (HE1 in Fig. 1). In order to maintain negative relative pressure inside the furnace, the gas flow rate is varied by the modulation of a register (dumper in Fig. 1) controlled by a pressure measurement in zone 7 of the combustion region. The first preheating of the billets by the flue gases described above occurs after the combustion gases passed through a heat exchanger that is located in a vertical duct (HE3 in Fig. 1) and that promotes the preheating of the air that is fed to the burners. Before the combustion zone and after the first preheating zone there is a furnace region (HE2 in Fig. 1) where the billets are again preheated by the combustion by-products (that have a higher energy content than in the first preheating zone). The hot flue gases that are responsible for the successive preheating

come from the different zones of the combustion region (zone 1 to zone 9 in Fig. 1) and are sucked through a longitudinal duct that exists below the mechanism that transports the billets. The combustion zone, where 312 burners gradually heat the billets, is composed of nine sub-zones that are controlled independently and that have different lengths. The temperature of each sub-zone is controlled automatically according to a set point imposed manually (in the sub-zone) and is a function of the material that is being heated. A fan drives the exhaust gases out of the furnace through a chimney.

The CFD simulations were carried out in the sections of the furnace that are located after the first preheating zone (i.e., the second preheating zone and the nine combustion sub-zones). Fig. 2 represents the geometrical model of the furnace region that was simulated. The billet is transported from left to right and the flue gases flow from right to left and after passing through the second preheating zone are deflected and flow upwards. Note that only the beginning of the vertical duct was modelled.



Scheme of the billet heating furnace studied in this work

RESULTS

Up to now, three different operating conditions (injector mass flow rates and excess air) have been simulated. The computational mesh with 8.9 million control volumes guarantees a compromise between computational time and accuracy of the results. In order to illustrate the results generated so far, Fig. 3 shows the temperature field along a longitudinal section of the furnace. The area that corresponds to the billet presents no results (white in the figure) since the billet is not being modelled. Instead, the billet surface temperature is imposed using a linear profile between the temperatures of the billet surface that were measured in the various sections of the furnace.

CFD results were compared to measured values of temperature taken at the end of the second preheating zone. Measurements of the chemical species concentrations also obtained at the end of the second preheating zone were used to determine the excess air that is imposed in the simulation. The difference between the simulated and measured temperatures is about 24%. The divergence between the measured and

simulated results may partially be explained by the fact that the furnace is at a lower pressure than its surroundings, which may lead to air entering the furnace. The extension of the computational domain (25 m) and the high wall surface area to volume ratio enforced a computational grid with a large number of control volumes, which resulted in a high computational



cost (about 720 hours per run).

Geometrical model of the billet heating furnace (the walls of the furnace are represented in grey and the billets are copper-coloured)



Temperature field along a longitudinal section of the furnace

FUTURE WORK

The method described in this work to develop a reduced-order model of industrial furnaces is still being implemented and the results presented in this paper are partial and preliminary. The simplified empirical model referred at the end of section II was already used to simulate the billet heating furnace and to determine the global energy balances for different operating conditions. In the next phase of the study, these results will be compared to the reduced-order model and to the CFD results.

The physics-based reduced-order model, as a consequence of the simplifications that needed to be made, still needs to be calibrated in order to improve the description of the transfer processes in the furnace as

much as possible, without compromising its low computational cost. In particular, it will be necessary to fine-tune the correlations that describe the convective heat transfer processes. Additionally, the way the temperature of the billet surface and the heat transfer inside the billet are modelled will be studied in more detail. This is essential for determining the efficiency of the furnace since the billets are the components that are heated.

The CFD and ROM will also be applied to a broad set of operating conditions, and their results, used to train the machine learning models, such as neural networks and SVR (support vector regression) thus, generating a composite ROM-MLM model. The accuracy, as well the capacity to describe different furnace characteristics with the proposed method

strongly depend on size and richness of the generated dataset used in the training phase. The computational effort in this dataset generation phase will be the main issue to set the different compromises between the accuracy and the generalization capability of the proposed models.

ACKNOWLEDGMENT

This study was funded by the Alentejo 2020, Portugal 2020 program (Contract n^o: 2017/017980) and by FCT – *Fundação para a Ciência e Tecnologia* (project UID/EMS/50022/2013).

REFERENCES

- A. Jaklič, T. Kolenko, and B. Zupančič, “The influence of the space between the billets on the productivity of a continuous walking-beam furnace,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 25, pp. 783–795, 2005.
- FLUENT, <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent> [Last accessed February 09 2019].
- T. H. Shih, W. W. Liou, A. Shabbir, Z. Yang, and J. Zhu, “A new $k-\epsilon$ eddy viscosity model for high reynolds number turbulent flows,” *Comput. Fluids*, vol. 24, pp. 227–238, 1995.
- B. F. Magnussen, and B. H. Hjertager, “On mathematical models of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion,” 16th Symp. (Int'l.) on Combustion, The Combustion Institute, 1976.
- E. H. Chui, and G. D. Raithby, “Computation of radiant heat transfer on a non-orthogonal mesh using the finite-volume method,” *Numer. Heat Transf. B-Fundam.*, vol. 23, pp. 269–288, 1993.
- G. D. Raithby, and E. H. Chui, “A finite-volume method for predicting a radiant heat transfer in enclosures with participating media,” *J. Heat Transf.*, vol. 112, pp. 415–423, 1990.
- J. Y. Murthy, and S. R. Mathur, *A Finite Volume Method for Radiative Heat Transfer using Unstructured Meshes*. AIAA-98-0860, January 1998.
- C. Cortes, and V. N. Vapnik, “Support vector networks,” *Mach. Learn.*, vol. 20, pp. 273–296, 1995.
- H. Drucker, C. C. Burges, L. Kaufman, A. J. Smola, and V. N. Vapnik, “Support Vector Regression Machines,” *Advances in Neural Information Processing Systems 9*, NIPS 1996, pp. 155–161, MIT Press, 1997.
- F. Rosenblatt, “The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain,” *Psychol. Rev.*, vol. 65, 386–408, 1958.

Application of Near-Infrared Spectroscopy and Chemometrics for real-time monitoring during a chlorophyll extraction process

Corro-Herrera, Victor; Aguilar-Uscanga Maria; Mancebo Boloy, Ronney Arismel; Lienqueo, Maria Elena

Corro-Herrera, Victor
Centre for Biotechnology and
Bioengineering
Department of Chemical Engineering,
Biotechnology and Materials,
University of Chile, Beauchef 851, CP
8370456, Santiago, Chile.
corroherrera@gmail.com

Aguilar-Uscanga Maria
Bioengineering Laboratory of Food
Research and Development Unit;
Veracruz Institute of Technology,
Calzada M.A. De Quevedo 2779,
Veracruz, CP 91860, Mexico.
gaguilar@itver.edu.mx

Mancebo Boloy, Ronney Arismel,
Energy, Environment and Technology-
GEEMAT, Mechanical Engineering
Department
Federal Centre of Technological
Education of Rio de Janeiro-
CEFET/RJ, Av. Maracanã, 229, CP
20271-110, Rio de Janeiro, Brazil
ronney.boloy@cefet-rj.br

Lienqueo, Maria Elena
Centre for Biotechnology and
Bioengineering
Department of Chemical Engineering,
Biotechnology and Materials,
University of Chile, Beauchef 851, CP
8370456, Santiago, Chile.
mlienque@ing.uchile.cl

Abstract— *The application feasibility of real-time monitoring of chlorophyll concentration during an extraction process, employing Near-infrared spectroscopy and chemometrics was investigated. During the whole process in a reactor, the chlorophyll determination was performed with a transfection probe immersed in the extract, and this probe was connecting to a Near-infrared process analyzer. The extraction was carried out using ethanol 96%. The NIR spectra recorded between 800 – 2200 nm were pretreated using multiplicative scattering correction (MSC), orthogonal signal correction (OSC), Savitzky–Golay smoothing and second derivative in order to perform a partial least squares regression (PLSr). One of the main challenges of calibration were eliminate the strongly contribution of ethanol to NIR spectra and the parsimonious localization of the specific NIR region for chlorophyll in this matrix. The calibration model was tested by external validation and then used to predict concentration in extraction process. The quality kinetic parameters for the model were standard error in calibration (SEC), 2.453 mg/L, standard error in prediction (SEP), 2.823 mg/L, number of factors in the model (LV's), 4 and error, 5.04 %. Calibration and validation criteria were defined and evaluated in order to construct robust and reliable models for chlorophyll extraction process matrix.*

Keywords—NIRS, chemometrics, chlorophyll, extraction, PLS

I. INTRODUCTION

The applications and the importance of in-line real-time monitoring using Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) and Chemometrics, as a Process Analytical Technology (PAT) in the Pharmaceutical and Food Industries, have increased through the years, due to their advantages and the results obtained [1]. Weak absorption bands (10 – 100 times weaker) compared to fundamental infrared absorption bands, are one of the main features of the NIRS. At the beginning, this was

a drawback for analytical purposes, but eventually, it has become an advantage, particularly in complex mixtures. In this type of matrix, the NIRS can measure NIR absorbance or scattering of many species with accuracy and precision. This change in NIRS was possible because of computing power, optical fibers and chemometrics. Real-time monitoring and control of critical process variables are essential for increase the productivity of a process, using the document data to make decisions throughout the process. An interesting application for NIRS technology in the field of chemical engineering are the extraction process. Liquid extraction using organic solvents is a very widespread technique for obtain molecules of industrial interest from biomass, *e.g.*, chlorophyll. Currently, in the chlorophyll extraction process, the temperature and stirring rate, are the most common variables monitored routinely in real time. Concentration of the interest components, in this case, chlorophyll, is mainly monitored through off-line analyzers, based in optic methods (UV-VIS spectroscopy) and chromatographic methods (HPLC). Although, the use of these methods covers the desirable analytical accuracy and precision, the data generated is not provided in real-time, and is useful to describe the kinetic profiles of the process, but not to adjust or control it at the right moment, if necessary. In the other hand, chlorophyll is an industrial interest biomolecule that uses as colorant and additive in the pharmaceutical and food industry; its production increased due to the current need to use natural derivatives in products for human consumption. For this reason, it is therefore interesting to search new sources for the extraction of chlorophyll, one of this sources could be the pine needles, that left behind the forest exploitation, and have no apparent use. Given the use of this molecule, it is very important to keep the state as natural as possible, to preserve the qualities. During the extraction

process, it is vital to know the moment at which the end of the process is reached, in order to prevent the extract from losing properties of interest, such as color and functionality. Hence, the application of NIRS and Chemometrics for the real-time monitoring of chlorophyll extraction from pine needles, presents as an alternative to improve the process and generate applicative knowledge.

II. METHODOLOGY

A. Chlorophyll extraction process

Extractions were carried out according to Lichtenthaler method (2001), using ethanol. Extraction conditions were optimizing with a Box-Behnken design being variables: temperature (50 °C), ethanol concentration (95 %) and time (240 min).

B. Reference Method

Reference analyses were performed on an Agilent 1,100 liquid chromatographic system equipped with a diode-array UV/ vis detector. A 250 mm x 4.6 mm i.d., 5 μ m particle size Inertsil ODS 2 column (Sugelabor) was used. Elution was performed at a flow rate of 1.0 mL/min at room temperature, using as the mobile phase a mixture (8:2 v/v) of methanol/water containing 0.025 % ammonium acetate and 0.05 % triethylamine as phase A and methanol/acetone (1:1 v/v) as phase B. Concentration is expressed in milligrams of chlorophyll by liter of extract.

C. NIRS measurements

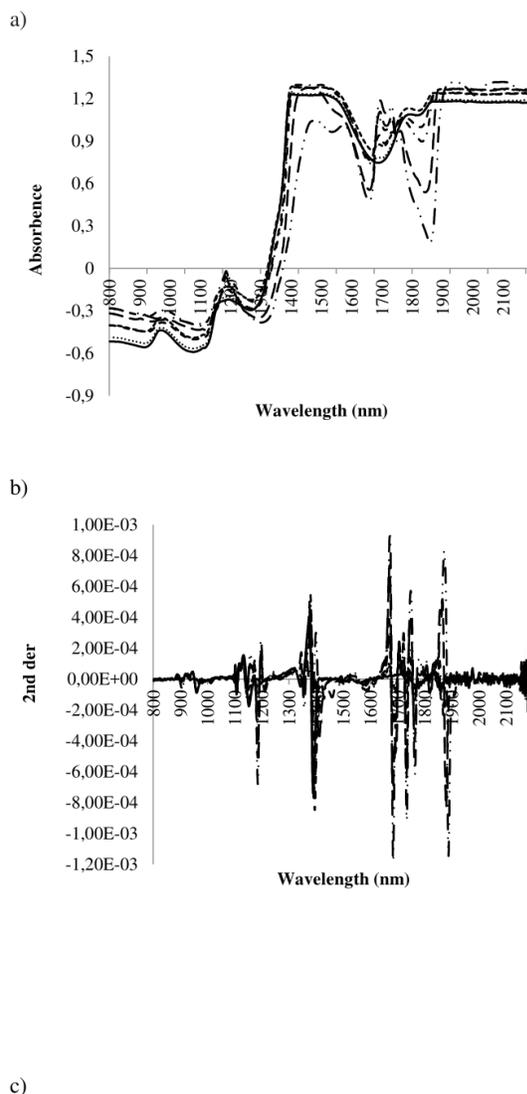
Spectra were acquired with a Near-Infrared Spectrophotometer XDS Process Analytics (Foss-NIRSystems, Silver Spring, USA) using an in-situ fiber optic transfection probe, 3 mm pathlength. The samples were scanned in duplicate over the whole NIR range (800–2,200 nm) every 20 min until the kinetic extraction was ended. The spectra were then averaged and derived (second derivative) in order to reduce the signal/noise ratio (Corro-Herrera *et al.*, 2016).

D. Model development and validation

Linear models were constructed using Partial Least Squares Regression (PLSR 1). Ten batch extraction process were used to collect the samples spectra. Development of all PLS models was carried out by Vision software (v 3.5, Foss-NIRSystems, Sylver Spring, USA). To avoid overfitting due to many factors or latent variables (LVs), the software predicts residual error sum of squares (PRESS) calculated from random subsets cross validation; a lower PRESS value indicates an adequate number of factors in the model. To assess the prediction capacity of the models, the coefficient of determination (R^2), standard error of calibration (SEC), standard error of prediction (SEP) and error (E%) were used as quality parameters.

One of the first steps in order to build a NIRS predictive calibration equation or model is to analyze and define the wavelengths or wavelength regions where the analytes of interest exhibit a strong signal coming either from their chemical (molecular absorption) or physical (scattering/reflective) properties. However, in most cases this cannot be done directly or straightforwardly [4, 5].

In the present case, all the zero order spectra underwent second order derivation to enhance spectral features, overcoming or decreasing drawbacks (broad-overlapping peaks) and biomass baseline shift changes (Figure 1). These pretreatments allowed a continuation of the predictive calibration modelling process through chemometrics.



III. RESULTS AND DISCUSSION

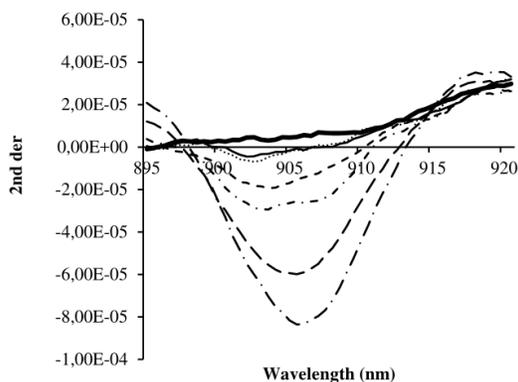
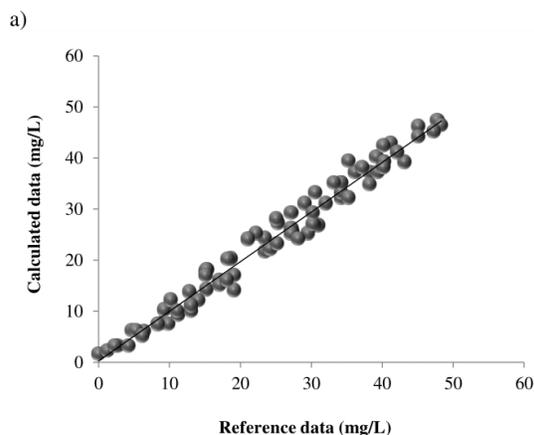


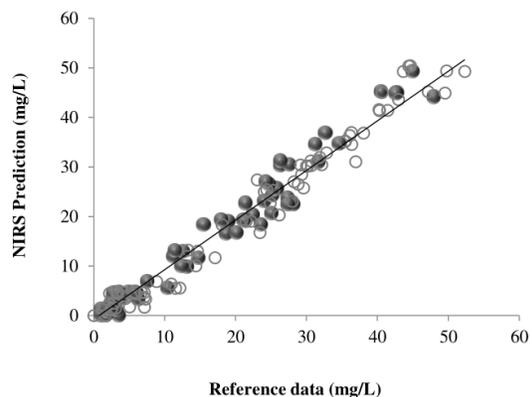
Figure 1. a) Zero order spectra of different chlorophyll concentration (0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 mg/L). b) 2nd derivative of each zero spectra. c) Zoom of the specific chlorophyll spectral region of interest for modelling.

For locating the specifically region of chlorophyll, the zero order spectra were mathematical pretreatment. MSC was used for eliminate the contribution to the spectra of the solids in suspensions that are not of interest, then, OSC, used for construct small model, i.e., a model with a small number of factors. S-G and 2nd derivative was used for clean the 2nd derivative spectra.

Model quality parameters for calibration are $R^2 = 0.974$, SEC = 2.453 mg/L and for validation $R^2 = 0.967$, SEP = 2,823 mg/L; E = 5.04 %. LVs = 4 (Figure 2a and 2b, respectively). Considering the SEC and SEP as first quality parameter, they are consistent according to the same magnitude order of the value. For R^2 of both, the values are close to the unit, showing the good correlation between the data and for validation.



b)



c)

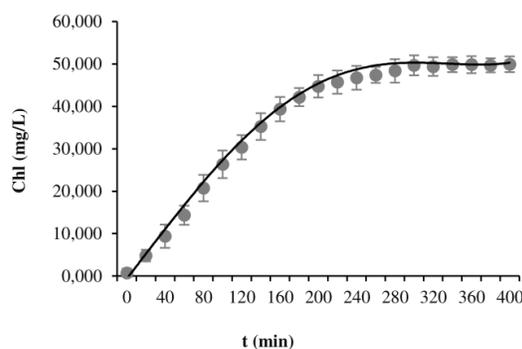


Figure 2. a) Calibration curve and b) Validation curve: (●) laboratory reference, (○) NIRS prediction. c) Real-time monitoring of chlorophyll concentration during the extraction, using the prediction model. (●) Experimental data, (—) prediction of the model.

Once the model was validated, it was now used to the real-time monitoring during the extraction process. 10 batches were carried out for collect the data shows in the Figure 2c. Fitting of the model is quite good with a $R^2 = 0.987$. Chemometric model has the sufficient robustness to predict the concentration of chlorophyll throughout the process. Furthermore, this model fits to the variability of the process, and in addition to expresses the process kinetic behavior.

IV. CONCLUSIONS

The technical feasibility of real-time monitoring through an immersion transfection probe, of chlorophyll extraction matrix, employing NIRS and Chemometrics, has been demonstrated. This assertion is based on the generation of a functional and robust prediction model for chlorophyll concentration, with R^2 values close to 1 and low SEC and SEP.

Application of this model to the alcoholic extraction of chlorophyll, could help to improve the process conditions and the quality of the extract obtained, furthermore, to improve the control in all levels, for this process and other similar.

V. ACKNOWLEDGMENT

Authors acknowledge the economic support from the National Council of Science and Technology, Mexico for the scholarship granted to Victor Abel Corro Herrera. This work was supported by Centre for Biotechnology and Bioengineering, CEBIB FB-0001 and Institute of Cell Dynamics and Biotechnology (ICDB).

VI. REFERENCES

- [1] M. Scarff, S.A. Arnold, L.M. Harvey, B. McNeil, *Crit. Rev. Biotechnol.* 26 (2006) 17-39.
- [2] H. K. Lichtenthaler, C. Buschmann, *Current Protocols in Food Analytical Chemistry.* (2001) F4.3.1-F4.3.8.
- [3] V. A. Corro-Herrera, J. Gómez-Rodríguez, P.M. Hayward-Jones, D.M. Barradas-Dermitz, M.G. Aguilar-Uscanga, *Biotechnol. Prog.* 32 (2016) 510-517.
- [4] B. Finn, L.M. Harvey, B. McNeil. Near-infrared spectroscopic monitoring of biomass, glucose, ethanol and protein content in a high cell density baker's yeast fed-batch bioprocess. *Yeast* 2006;23:507–517.
- [5] K. Suehara, T. Yano. Bioprocess monitoring using near-infrared spectroscopy. *Adv BiochemEngin/Biotechnol.* 2004;90:173–198.

Modifications on the thermal degradation of unwanted biomass as a result of previous catalyzed hydrothermal treatment

Silvia Román, Mara Olivares, Beatriz Ledesma, Sergio Nogales, Carmen García

Silvia Román*
Applied Physics Department
University of Extremadura
Badajoz, Spain
sroman@unex.es

Mara Olivares
Mechanics, Energetics and Materials
Engineering
University of Extremadura
Badajoz, Spain
maraom@unex.es

Beatriz Ledesma
Applied Physics Department
University of Extremadura
Badajoz, Spain
beatrizlc@unex.es

Sergio Nogales
Chemical Engineering Department
University of Extremadura
Badajoz, Spain
senogalesd@unex.es

Carmen González-García
Applied Physics Department
University of Extremadura
Badajoz, Spain
cggarcia@unex.es

Abstract—Hydrothermal carbonization (HTC) holds an advantageous position among other thermal processes since it allows to directly handle wet biomass as carbonization occurs on water, limiting the need for costly pretreatments or drying steps. Moreover, the addition of catalysts to the process has been shown to modify the process path as well as the distribution of elements between solid and liquid phases.

This work aimed to study the effect of iron (added as Fe particles, FeCl in solution or ferrofluid) on the thermal degradation profiles of hydrochars (HC).

It was found that the presence of this metal under the different forms studied resulted in all cases in a lower solid yield, and changed the pattern of non-catalyzed HTC, slightly inhibiting the loss of O while enhancing the migration of C to the liquid phase. TGA analyses allowed to infer that whereas the use of ferrofluid or iron particles only had a slight effect on the vulnerability of the HC towards heating at low temperatures (<200 °C), the addition of FeCl made the HC more resistant to thermal degradation specially at higher temperatures, indicating that under these conditions, the prominence of reactions like condensation, aromatization, repolymerization etc. to yield a lignin-type fraction during HTC might be enhanced.

Typical kinetic parameters determined from experimental DTA such as activation energy were consistent with these hypotheses, as well as the chemical surface analyses (FT-IR) performed on the HCs.

Keywords—hydrocarbonization, almond shell, thermogravimetry

INTRODUCTION

By hydrothermal carbonization (HTC), biomass is treated in hot compressed water at mild conditions (250 °C, autogenous corresponding saturation pressure, around 14 bar), resulting in three products: gases, aqueous chemicals, and solid product. The solid product (hydrochar) has a higher energy density than the starting biomass feedstock, as well as other benefits related to greater amount of binding agents (suitable further pelleting processes), potential greater ash melting point, and greater stability (very interesting regarding storage) [1].

Very recently, some pieces of research have tried to understand how the presence of catalysts during HTC can affect the reaction kinetics or the final properties of the HCs. In some cases, adding for example, some metals, can modify the ash composition [3], can make the HC more reactive towards a further gasification enhancing porosity development, or can provide specific surface properties by fostering the formation or specific functional groups.

This can also affect the thermal stability of HCs over specific ranges of temperature, and modify the associated kinetics, so important for sizing reactors.

In this work, the Fe-assisted HTC of almond shell was studied, paying attention to the changes in phase (solid, liquid, gas) distribution as well as to the resistance of the resulting HCs towards thermal treatment. Thermogravimetric analyses allowed the identification on typical degradation peaks, and characteristic kinetic parameters were determined. In addition, surface analyses made on the HCs provided information about modifications on the material functionalities, and morphological differences.

^g EXPERIMENTAL

a. Materials

Almond shell was supplied from Bioterra Pasat-Profuse (Badajoz, southwest Spain). The precursor was first washed thoroughly with water to remove dirt, then dried in an oven, and finally sieved (1-2 mm).

The effect of Iron was studied using three different forms of this metal; iron (III) chloride 6-hydrate and iron metal particles were purchased from Panreac Applichem (USA), whereas the ferrofluid (EFH1) was supplied by Ferrotech (USA).

b. Preparation of HCs

Standard HTC processes were performed in a stainless steel autoclave (Berghof, Germany). In a 0.2 L teflon vessel (unstirred), an appropriate amount of biomass precursor (3 g) and 50 mL of deionised water at room temperature were added. Then, the Teflon vessel was sealed and placed into the autoclave and the system remained overnight at room temperature. Thereafter, the system was heated up in an electric furnace at 200 °C, during 20 h (these reaction conditions were chosen based on previous HTC studies with other biomass sources using the same equipment) [3]. When the reaction time was reached the autoclave was removed from the oven and subsequently placed in a cold-water bath and allowed to cool down to room temperature. After cooling, the solid phase was separated from the liquid by vacuum filtration and subsequently dried at 80 °C to remove residual moisture. The dried hydrochar was stored in closed flasks placed into a desiccator until further analysis.

The addition of iron to the hydrochars was performed following the methods proposed by Gai et al. [4], with some modifications as described below, in two different ways:

a) Method 1; 50 mL of FeCl₃·6H₂O solution made with distilled water (0.25M) was added to the biomass (3 g) and directly subjected to HTC, performed under the conditions of standard experiments (section 2.2.1). Sample name: HC_AS_FeCl.

b) Method 2; in this case, 2 g of Fe metal particles was mixed with 3 g of biomass and 50mL of distilled water and, after performing the HTC process under standard conditions, the resulting was filtered as mentioned above and iron particles were retired with the help of a magnet. Sample name: AL-HC-Fe.

c) Method 3 (HC_AL_FF); this method was analogous to c), although Ferrofluid (FF, 2g) was used instead of Fe particles.

c. Thermogravimetric studies

Thermal analyses (TGA, DTG and DTA) were made using a SETARAM SETSYS EVOLUTION instrument controlled by a PC. Argon (100 mL/min) was used as carrier agent and a heating rate of 10 °C/min was applied.

d. Surface analyses

The surface chemistry was studied by means of FTIR spectroscopy. FTIR spectra were recorded with a Perkin Elmer model Paragon 1000PC spectrophotometer, using the KBr disc method, with a resolution of 4 cm⁻¹ and 100 scans.

^h DISCUSSION OF RESULTS

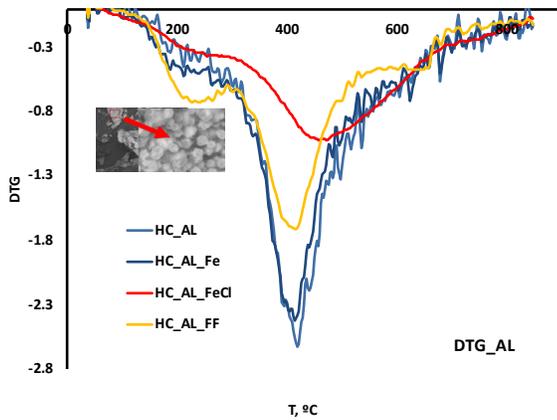
Almond shell presented an immediate analysis typical of lignocellulosic biomass materials (51.3 % of C), that was clearly increased after HTC, mainly as a result of a significant removal of O during degradation processes. The ultimate analysis showed fixed carbon, volatile matter, moisture and ash contents of 26.2, 70.7, 1.1 and 2.3 %, respectively.

Figure 1 shows the DTG curves corresponding to the HCs prepared under the conditions described above. It can be seen that the addition of Fe during HTC can have a very slight or a significant effect on the thermal degradation profile of the HC, depending on the form under which it is added to the reaction system. In general, only the addition of FeCl₃ has a remarkable effect on the TG profiles. According to previous pieces of research on the addition of FeCl₃, under HTC conditions and as a result of hydrolysis, Fe might be converted into amorphous forms (such as Fe(OH)₃ and Fe(OH)H), that might help the process.

This is outstanding, especially if one considers the solid yield values (SY, %) displayed in Table 1. In this table, it can be seen that using Fe under any of the forms studied involved a greater SY. This can be related, in the first place, to the enhanced ash content, as expected because of Fe deposition (that was further corroborated by SEM-EDX analyses) and/or to an inhibition of biomass degradation upon HTC/enhancement of recondensation and recombination reactions in the liquid phase, to form the “second char” or coke.

TGA profiles showed that only FeCl₃ gave rise to a more resistant material towards heating treatment (see values of final mass loss, in Table 1), thus confirming that this compound effectively catalyzed the previous HTC.

DTG profiles of HCs (SEM showing HC_AL_FF)



VALUES OF SY (%), HHV (MJ/KG), T_p (°C) AND REPRESENTATIVE MASS LOSS VALUES (%)

	SY _{HTC}	HHV	T_p	m_{350}	$m/m_0 (T_p)$	$m/m_0 (T_f)$
HC_AL	41	28.3	418	0.2	81.5	59.9
HC_AL_Fe	36	26.6	413	90.6	79.4	51.4
HC_AL_FeCl	30	23.3	456	93.1	84.6	65.7
HC_AL_FF	31	17.6	416	88.4	78.9	50.9

On the contrary, the HC made with FF was more reactive at the first stages of deposition. This, in turn can suggest that while a greater amount of Fe was effectively taken by the HC in the case of FeCl, the FF also involved a greater volatile proportion of the HC, making it more vulnerable to heating at $T < 350$ °C. FF, which is composed by an oily liquid and Fe nanoparticles might form a film around biomass particles (see SEM image in Figure 1) that could, at some extent, hinder the reaction. Carbon densification is clearly inhibited for this material, as deduced by the heating value of this HC (the lowest).

By applying a first order reaction model, an estimation of activation energies, at the highest degradation rate (around 400-500 °C, depending on the sample), allowed a more detailed understanding of reactivity of the HCs. Thus, HC_AL and HC_AL_Fe showed similar E_a values, whereas HC_AL_FeCl had the highest activation energy. These results are in accordance with the DTG results

CHARACTERISTIC KINETIC PARAMETERS

SAMPLE	TEMPERATURE RANGE (°C)	EA (KJ/MOL)
HC_AL	400-450	28.9
HC_AL FE	400-450	28.4
HC_AL FECL	450-500	35.1
HC_AL FF	400-450	30.5

CONCLUSIONS

The way at which Fe is added during HTC process affects its effect on the degradation and mechanisms of recondensation processes. FeCl₃ had a clear effect on the process and, in consequence, the derived HC showed a different thermogravimetric behavior as compared to the basic HC, while the other two methods did not affect the process (Fe particles), or only influenced the first devolatilization step (ferrofluid) in whose case, the HTC had been less effective in decreasing the volatile matter content, probably due to mass transfer inhibition in the bulk of the reaction.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful to *Ministerio de Ciencia Innovación y Universidades* and the *Junta de Extremadura* and *FEDER* (Fondo Europeo de Desarrollo Regional "Una manera de hacer Europa"), for financial help by projects CTM2016-75937-R and IB16108, respectively, and also to the programme "Ayudas a grupos de la Junta de Extremadura"

REFERENCES

- S. Román et al. Hydrothermal Carbonization: Modeling, Final Properties Design and Applications: A Review. *Energies* 2018, 11(1), pp. 216-244.
- V. Benavente, A. Fullana. Additives for ash related problems prevention in HTC fuels. 2nd International Symposium on Hydrothermal Carbonization, Berlin, May 2019.
- S. Román, J.M.V. Nabais, C. Laginhas, B. Ledesma, J.F. González, 2012. Hydrothermal carbonization as an effective way of densifying the energy content of biomass. *Fuel Processing Technology*, 103(0), 78-83.
- C. Gai, F. Zhang, Q. Lang, T. Liu, N. Peng, and Z. Liu, "Facile one-pot synthesis of iron nanoparticles immobilized into the porous hydrochar for catalytic decomposition of phenol," *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 204, pp. 566-576, 2017.

Estimación del potencial energético solar en el sector centro-oriente de Bogotá - Colombia, a partir de medidas de irradiación solar global

Nelson L. Forero Ch., Fabio L. Roa C., Diego Y. Esquivel S.

Nelson L. Forero Ch.

Grupo de Investigación en Física del Medio Ambiente y Energía Solar - FMAES
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
 Bogotá, Colombia
 nforero@udistrital.edu.co

Fabio L. Roa C.

Grupo de Investigación en Física del Medio Ambiente y Energía Solar - FMAES
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
 Bogotá, Colombia
 froac@udistrital.edu.co

Diego Y. Esquivel S.

Grupo de Investigación en Física del Medio Ambiente y Energía Solar - FMAES
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
 Bogotá, Colombia
 dyesquivels@correo.udistrital.edu.co

Resumen— En este trabajo se presenta una estimación del potencial energético solar en el sector centro-oriente de la ciudad de Bogotá - Colombia, basada en la evaluación y análisis de medidas de irradiación solar global horizontal G, adquiridas a partir del año 2008 al 2015 mediante un sistema de adquisición de datos desarrollado bajo la arquitectura de la Instrumentación Virtual (IV). Como soporte para esta estimación, se ha hecho cálculo de las horas de sol estándar (HSS), información que es indispensable en el diseño y dimensionamiento de sistemas de conversión de energía solar, tanto térmicas como fotovoltaicas, así como en la arquitectura solar y en la ingeniería de sistemas solares enfocados a futuros desarrollos de plantas solares en regiones con características climáticas similares a las de la sabana de Bogotá.

Keywords— *Irradiación solar global, Recurso solar, Horas de Sol Estándar, Instrumentación Virtual, LabView.*

I. Introducción

El grupo de investigación en Física del Medio Ambiente y Energía Solar - FMAES, adscrito a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Bogotá – Colombia, ha venido construyendo bases de datos de variables ambientales y parámetros atmosféricos en una primera fase desde el año 2002 a 2007, y luego en una segunda fase del 2008 a la fecha. Una de estas variables es la irradiación solar global horizontal. A partir de esta base, se analiza el comportamiento de la irradiación solar global en una primera parte que va desde el 2008 al 2015, para el sector centro-oriente de Bogotá, mediante la obtención de promedios horario, diario, diario/mensual, con los cuales se evalúa su comportamiento periódico anual, no solo como parámetro característico para el dimensionamiento y aplicación en sistemas solares de conversión térmica o en sistemas fotovoltaicos, sino también y particularmente, como elemento de estudio de la influencia que ejerce la contaminación atmosférica e incidencia del cambio climático [1].

Interesados en evaluar el comportamiento del recurso energético solar, se ha desarrollado un sistema de adquisición de datos (DAQ) por medio del software programación gráfica LabVIEW y un piranómetro Eppley 8-48 Black&White ubicado horizontalmente para adquirir, procesar y analizar la irradiación solar global, estableciendo valores estadísticos representativos del comportamiento dicha variable y calculando a partir de ésta, un parámetro importante como lo son las Horas de Sol Estándar - HSS. Un conocimiento cercano de las características relevantes del recurso solar en un lugar específico, es útil para evaluar el desempeño de plantas solares CSP, o para definir estrategias de operación [2].

En este contexto, en la mayoría de casos en Colombia se cuenta con bases de datos de irradiación solar global horizontal como información básica, o mapas y atlas de radiación solar brindados por instituciones tanto gubernamentales como de orden privado [3]; sin embargo, son escasos los valores estadísticos representativos de dichas mediciones sobre el recurso energético solar para sectores determinados de una región y de influencia local, teniendo en cuenta las características climáticas espacio-temporales de alta variabilidad, como es el caso de la región en la cual se encuentra ciudad de Bogotá. Frente a este panorama, es bien sabido que la variabilidad climática y las condiciones de irradiación solar, impactan en general y directamente el desempeño de los sistemas solares [4].

Así mismo y principalmente en los años recientes, a nivel gubernamental se han venido promoviendo políticas en las que también se involucra al sector privado empresarial, para impulsar el uso y aplicación de energías limpias y en particular el de la energía solar, no solo como opción para el suministro energético del país y en particular el de energía eléctrica, que cada vez tiene mayor demanda de servicio, sino también con el interés de contribuir en la reducción de las causas y efectos del cambio climático.

Como respuesta a este reto, se hace necesario el aporte válido de medidas de potencial energético solar para áreas y regiones definidas, cuyo significado se traduzca en eficiencia y calidad de servicio, así como en la reducción de costos en el dimensionamiento, diseño e implementación de plantas y sistemas solares.

II. Aspectos experimentales.

A. Aspectos climatológicos y geográficos regionales

La ciudad de Bogotá – Colombia, se encuentra ubicada sobre la cordillera oriental de los Andes en el centro geográfico del país, en la altiplanicie de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, a una altitud aproximada de 2630 msnm, con montañas que la rodean y que hacen que se tenga una temperatura promedio del orden de 14.2°C. El sector centro-oriental de la ciudad, localizado a una altitud promedio de 2655 msnm, se encuentra bordeado en la franja oriental por una cadena montañosa que sobrepasa en algunos casos los 3300 msnm y que corresponde a los límites con la gran llanura oriental del continente suramericano compartida por Colombia, Venezuela y Brasil, cuyo promedio de altitud es cercana a los 300 msnm. La figura 1, detalla estas condiciones.



Fig. 1. Localización del sector objeto de estudio del potencial energético solar.

La situación limítrofe a la que se hace referencia, condiciona el clima de la altiplanicie haciéndolo en extremo variable, tanto temporal como espacialmente, lo que determina dos temporadas secas y dos de lluvias anualmente; una mayormente seca que inicia en la segunda mitad del mes de diciembre y continúa en los meses de enero y febrero, con temperaturas superiores al promedio, seguida de una temporada de lluvias durante los meses de marzo, abril y mediados de junio con temperaturas por debajo del promedio, para luego comenzar una temporada semiseca entre la segunda mitad del mes de junio, julio y finales de agosto, para luego presentarse la segunda temporada de lluvias, desde finales de agosto hasta mediados

del mes de diciembre. Este patrón de comportamiento está distribuido espacialmente y sincronizado con los ciclos estacionales de radiación solar para la subregión. No pueden dejarse de lado dentro de la escala de variabilidad, la influencia adicional que ejerce en estos comportamientos climáticos de la subregión, las fluctuaciones climáticas asociadas al fenómeno ecuatorial del niño (y su fase negativa, de la niña) ocurridos en la costa pacífica de Sur América.

Es normal en la zona metropolitana de la capital colombiana, que mientras en un sector se encuentra lloviendo o está nublado, en otro sector se presente radiación solar que alcance los 1200Wm⁻², con cielos claros. Los cambios climáticos temporales abruptos son algo típico, ya que, en el mismo sector geográfico, en un mismo día se pasa de un día claro a nublado y con lluvia en corto tiempo. Esto además de dificultar las predicciones y los pronósticos incide en el porcentaje bajo de días claros, los cuales se presentan principalmente durante la temporada seca en el mes de febrero, días caracterizados a su vez en el amanecer, por temperaturas cercanas a 0°C, contrastadas con temperaturas superiores a los 23°C en las horas del mediodía.

Como se mencionó anteriormente el comportamiento de los parámetros climáticos y ambientales en el entorno de los sistemas solares de conversión térmica o fotovoltaica influyen directamente en el desempeño de los mismos. Para caracterizar por tanto dicha influencia en la eficiencia de la aplicabilidad del recurso solar, se miden además de la irradiación solar global, otros parámetros meteorológicos [5], [6] y climáticos como irradiación solar directa, difusa, temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento, humedad relativa, presión atmosférica entre otros, que conforman la estación FMAES ubicada a 4.61° de latitud Norte 74.06° de longitud Oeste y a una altitud de 2657 msnm.

B. Sistema de Adquisición de datos

Los datos experimentales de irradiación solar global horizontal se adquieren a partir de un sistema estructurado y desarrollado bajo el concepto de Instrumento Virtual (IV) desarrollado mediante el lenguaje de programación gráfica Lab-VIEW. El instrumento virtual desarrollado emplea como componente hardware, módulos compact Field Point (cFP). Tanto LabVIEW, como los cFP son desarrollados por la firma National Instruments. Los cFP están compuestos por un módulo compact Field Point-2020 (cFP-2020), que es un controlador de procesos de automatización programable y módulos I/O, cFP AI 100 y cFP TC 120, estos últimos para medir las diferentes variables (señales) provenientes de los sensores. Las comunicaciones entre el sistema cFP-2020 y el PC se efectúan a través de puerto Ethernet y la configuración de los diferentes dispositivos es llevada a cabo con el software Measurement & Automation Explorer (MAX), desarrollado por National Instruments.

Los diversos instrumentos virtuales (VI) diseñados con LabVIEW que conforman el sistema de adquisición de datos automático (DAQ) desarrollado, permiten supervisar la operación de instrumentos y transductores, así como medir, adquirir, calcular los diferentes promedios, ejecutar la

transmisión de datos, almacenar, analizar y evaluar estadísticamente los datos de cada variable meteorológicas o parámetro, y en particular la radiación solar global, además visualizan numéricamente y gráficamente los diferentes resultados en la pantalla de un PC y genera reportes periódicos. El sistema de adquisición en su conjunto adquiere un dato cada 5 segundos por variable, en 12 adquisiciones y para cada variable el instrumento virtual calcula y salva el promedio de estas, cada minuto. El sensor de radiación solar global empleado, elemento esencial del instrumento virtual para la medida de la irradiación solar global, es un piranómetro tipo termopila de la firma Eppley ref. 8-48, Black & White nivelado horizontalmente, con sensibilidad de $10\mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$ y tiempo de respuesta del orden de 4.2 segundos. El Instrumento Virtual desarrollado para la medida de la irradiación solar global en conjunto tiene una resolución de $\pm 1.2\text{Wm}^{-2}$, que permite visualizar los resultados en una interfaz gráfica denominada panel frontal; de la misma forma, la aplicación desarrollada exporta automáticamente los promedios por minuto de cada día a un archivo .dat, con los cuales se obtienen los promedios hora-día y los promedios día [8].

C. Metodología y tratamiento de datos

El instrumento virtual realiza la adquisición de datos [7], calcula el promedio minuto con de las 12 adquisiciones y determina el promedio diario de irradiación solar global. Dentro del lenguaje diario de los medios de comunicación local, se dan pronósticos y estados del tiempo, en los que se habla de días soleados o días claros, días seminublados o parcialmente nublados y días nublados, estableciendo así tres categorías, que bajo ese criterio nos permite establecer particularmente tres intervalos que nos facilitan la selección estadística para el promedio diario de irradiación solar global \bar{G} , así:
Para días nublados:

$$0 \leq \bar{G} < 200\text{Wm}^{-2} \quad (1)$$

Para días parcialmente nublados (seminublados):

$$200\text{Wm}^{-2} \leq \bar{G} < 400\text{Wm}^{-2} \quad (2)$$

Y para días claros:

$$400\text{Wm}^{-2} \leq \bar{G} \quad (3)$$

Así mismo, a partir de los datos de irradiación solar global horizontal adquiridos día a día se construye un perfil de irradiación diario, para determinar las horas de sol estándar HSS, que corresponden a la cantidad de energía recibida por la superficie y equivale al área bajo la curva de dicho perfil, que, a su vez corresponde a el área del rectángulo que se forma con base HSS y altura 1000Wm^{-2} , como se indica en la figura 2.

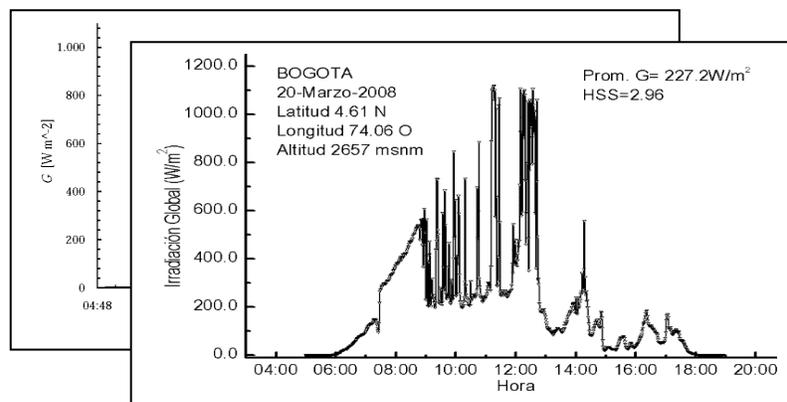


Fig. 2. Horas de sol estándar HSS, en una superficie horizontal, 31 de enero de 2008, como ejemplo.

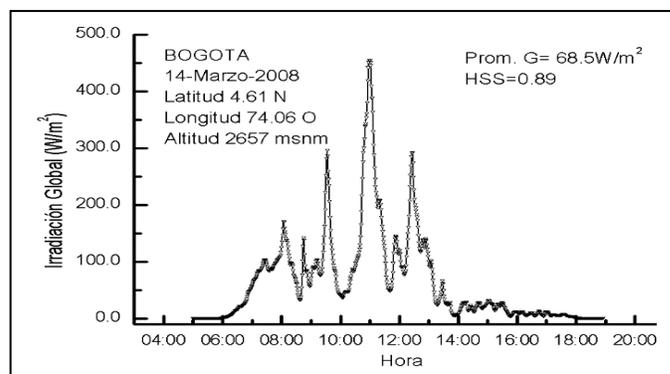
Si se considera un perfil de irradiación para un día y se determina el valor total de energía a partir de la suma de los promedios de radiación solar global hora-día, se puede establecer el número de horas de sol estándar a partir de la ecuación:

$$HSS = F (Whm^{-2})/1000(Wm^{-2}) \quad (4)$$

Donde F , es la cantidad de radiación solar promedio, que recibe la superficie horizontal en un día, teniendo en cuenta la condición ideal de radiación constante desde el Sol, a razón de $1000(Wm^{-2})$.

III. Resultados y análisis

Con los promedios minuto adquiridos se construye el perfil de irradiación solar global horizontal en función de la hora del día



[8]. Bajo los criterios expuestos anteriormente referentes a los intervalos definidos para el promedio diario, se construye día a día cada perfil de irradiación solar global. A manera de ejemplo se presentan perfiles relacionados con cada intervalo. El primero hace referencia a días nublados, en los que se pueden presentar irradiaciones solares tan bajas como la del 14 de marzo de 2008, con un promedio de radiación solar global diaria de 68.5Wm^{-2} y con un valor HSS de 0.89, como se evidencia en la figura 3.

Fig. 3. Perfil de radiación solar para un día calificado como nublado.

De manera análoga se tiene el perfil para un día parcialmente nublado, como ejemplo se representa el 20 de marzo de 2008 en la figura 4, en el cual se obtuvo un promedio de radiación solar global diaria de $227.2W/m^2$, y un valor HSS de 2.96.

Fig. 4. Perfil de radiación solar para un día parcialmente nublado.

Así mismo, en contraste para el mismo mes, se obtiene acorde con los intervalos establecidos el perfil de irradiación para un día catalogado como claro, representado en la figura 5, con un promedio de $437.1W/m^2$ y un valor HSS de 5.69.

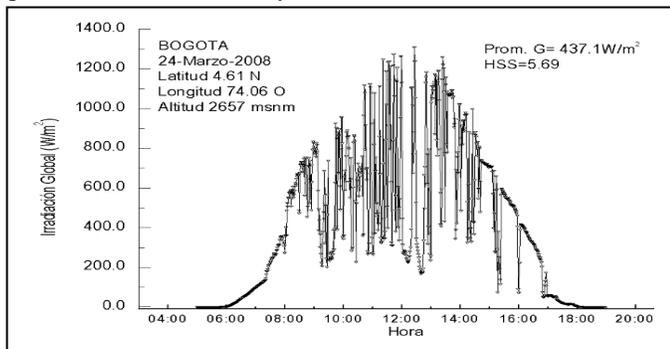
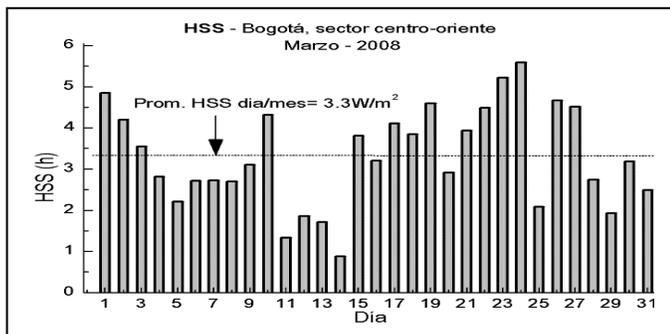


Fig. 5. Perfil de radiación solar para un día calificado como claro.

A partir de los valores de HSS para cada día se observa el comportamiento de la irradiación solar en el mes como se indica en la figura 6, mes cuyo promedio diario-mensual fue de 3.3 HSS. Se destacan, el 24 de marzo con el valor máximo y el 14



del mismo mes con el valor mínimo de HSS.

Fig. 6. HSS promedio día en el mes de Marzo de 2008.

Casos especiales característicos son los días clasificados como claros, ya que se presentan con baja frecuencia comparados con días nublados y nublados parcialmente. Si se observa la figura 6, se nota que se presentaron tres días con irradiación superior a 4.8 HSS para el mes de marzo de 2008 esto es, iguales o superiores a $400Wm^{-2}$, en su promedio.

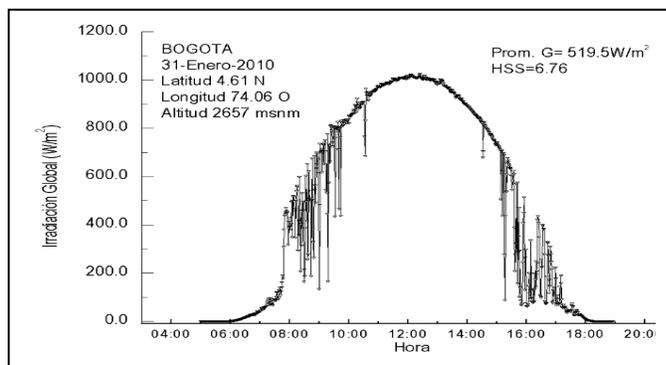


Fig. 7. Perfil de radiación solar para un día característico como claro.

Uno de estos días característicos se representa en la figura 7 a manera de ejemplo, correspondiente al 31 de enero de 2010 en el que el promedio de irradiación solar global fue $519Wm^{-2}$, y un valor de HSS de 6.76.

En la tabla I, se presentan como caso particular para el año 2008, los resultados de la clasificación del número de días por mes, acorde con los valores de HSS, para los intervalos establecidos de irradiación solar global en las inecuaciones (1), (2) y (3).

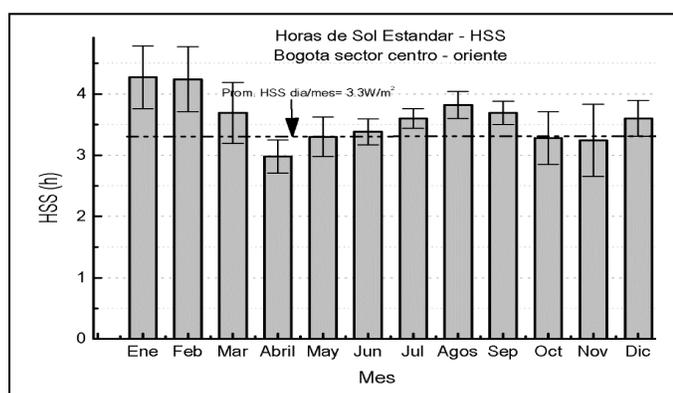
Los días mayormente nublados se presentan en abril, mayo, junio, octubre y noviembre. Adicionalmente, los meses con ausencia de días claros son mayo y noviembre. Por otro lado, a partir de estos criterios, se tiene que durante el 2008 ocurrieron 32 días claros, esto es, cerca del 9% de los días del año, que se podría interpretar como bajo nivel de radiación solar promedio, que son situaciones que se repiten en general anualmente.

TABLE I. CLASIFICACIÓN NUMERO DE DÍAS SEGÚN VALOR DE HSS PARA EL 2008.

Mes	Número de días/mes		
	Días nublados	Días parcialmente nublados	Días claros
Enero	1	22	8
Febrero	4	18	7
Marzo	7	21	3
Abril	9	20	1
Mayo	13	18	0
Junio	8	21	1

Mes	Número de días/mes		
	Días nublados	Días parcialmente nublados	Días claros
Julio	7	22	4
Agosto	6	23	2
Sept.	3	24	3
Oct.	9	20	2
Nov.	12	19	0
Dic.	8	22	1

Siguiendo el procedimiento empleado para todos y cada uno de los días, meses y años tomados en consideración, se obtienen



los resultados representados en la figura 8, que permiten verificar el comportamiento de la radiación solar global mes a mes, a lo largo del año.

Fig. 8. HSS promedio día/mes para el año 2008.

El cálculo del promedio y la desviación estándar de las HSS promedio para cada mes en los ocho años de análisis, definen los intervalos de confianza establecidos y representados en la figura 8, en los cuales se encuentran para este caso el 100% de los promedios de HSS obtenidos, lo que implica que los valores promedio para cada mes son representativos para el grupo de datos considerados.

TABLE II. COMPORTAMIENTO Y PRONÓSTICO DE LAS HSS EN FUNCIÓN DEL MES DURANTE EL PERIODO 2008-2015.

Mes	Número de días/mes		
	Pronóstico HSS	Desviación	Intervalo de Confianza
Enero	4.27	0.51	2.45 a 6.09
Febrero	4.24	0.53	2.37 a 6.11
Marzo	3.69	0.50	2.69 a 4.70

Mes	Número de días/mes		
	Pronóstico HSS	Desviación	Intervalo de Confianza
Abril	2.98	0.27	2.44 a 3.53
Mayo	3.30	0.32	2.67 a 3.93
Junio	3.38	0.21	2.96 a 3.79
Julio	3.60	0.16	3.29 a 3.92
Agosto	3.82	0.22	3.38 a 4.27
Sept.	3.69	0.19	3.30 a 4.07
Oct.	3.28	0.43	2.41 a 4.15
Nov.	3.24	0.59	2.07 a 4.41
Dic.	3.60	0.29	3.03 a 4.17

Con base en los resultados obtenidos se realizó un análisis estadístico básico de la información de HSS promedio para cada mes, desde el año 2008 hasta diciembre 31 de 2015. La figura 9 describe los resultados.

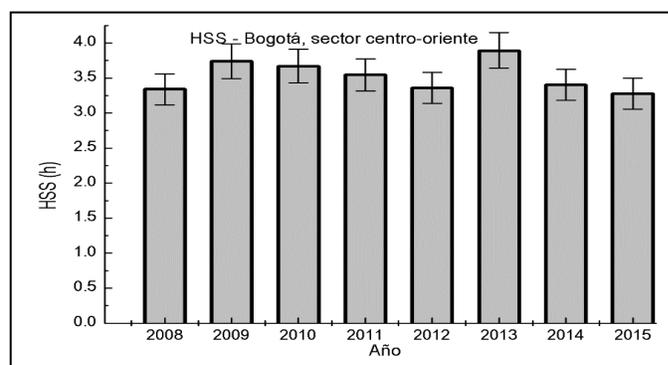


Fig. 9. HSS promedio para Bogotá desde el año 2008 hasta el 2015.

Los resultados muestran un comportamiento oscilante en la magnitud de las HSS, con aumento del 2008 al 2009 y luego un decrecimiento constante hasta el 2012 para nuevamente aumentar en el 2013 y repetirse el ciclo, comportamiento que podría asociarse a ciclos atmosféricos donde se presenta menor o mayor cantidad de nubes y con ella, mayores o menores niveles de irradiación, como consecuencia principalmente al fenómeno del niño, comprobable a partir de los valores promedio de las HSS. La disminución en el valor de HSS para cada año se puede atribuir a dos factores, primero de mayor absorción de la radiación por parte de la atmósfera por efecto de la humedad y en segundo lugar a raíz de la presencia y aumento de emisiones contaminantes.

Es de resaltar el hecho de que el comportamiento de la radiación solar durante el 2009 fue significativamente diferente al del 2008, y consecuentemente entre el 2012 al 2013, posiblemente asociados a cambios meteorológicos que se han venido presentando a nivel mundial y en particular a nivel regional

asociados a fluctuaciones climáticas causadas por el fenómeno ecuatorial del niño (y su fase negativa, la niña) ocurridos en la costa pacífica de Sur América.

Los resultados demuestran particularmente que durante los meses de julio y agosto se presentan para muchos días de manera intermitente fuertes disminuciones en la magnitud de intensidad de la radiación solar global, por efecto de la presencia de nubes bajas que se desplazan rápida y continuamente por efecto de vientos, mientras que durante el mes de febrero se presentan días con baja densidad de nubes, pero con perfiles de radiación afectados en las horas de la mañana, por presencia de nubosidad característica de la temporada seca, en la que además de presentarse bajas temperaturas en la madrugada, se forman núcleos de nubosidad por efectos de condensación propios de la región del altiplano andino.

IV. Conclusiones

El análisis de la radiación solar global a través de las HSS determina el potencial energético solar de un lugar en particular y establece el comportamiento de las HSS para cada mes analizado, lo que ha permitido establecer un comportamiento a manera de pronóstico de las HSS en el sector centro – oriente de Bogotá, para los siguientes años. Además, los valores promedio de HSS están de acuerdo con los fenómenos ambientales registrados en el periodo de medición, lo que ratifica la confiabilidad del sistema de adquisición de datos y soporta los procesos llevados a cabo para realizar el análisis estadístico.

Agradecimientos

Al Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por el apoyo al Grupo de Física del Medio Ambiente y Energía Solar FMAES.

Referencias

- [12] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Impacto del Cambio Climático en Colombia, consulta en <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/457-plantilla-cambio-climatico-13>
- [13] C. Fernández, et al., Probabilistic assessment of concentrated solar power plants yield: The EVA methodology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 91(C), pp 802-811, 2018.
- [14] IDEAM, Atlas de radiación solar, consulta en <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- [15] IDEAM – UNAL, La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia, Bogotá 2018, consulta en <http://www.andi.com.co/Uploads/variabilidad.pdf>.
- [16] A. A. Trabeaa, M.A. Mosalam. Correlation of global solar radiation with meteorological parameters over Egypt, *Renewable Energy* vol. 21, pp. 297-308, 2000.
- [17] A. Boilley, L. Wald, Comparison between meteorological re-analyses from ERAInterim and MERRA and measurements of daily solar irradiation at surface. *Renewable Energy*, vol. 75, pp. 135–143, 2015.
- [18] K. Kalaitzakis, E. Koutroulis, V. Vlachos, Development of data acquisition system for remote monitoring of renewable Energy System, *Measurements*, vol. 34 pp. 75, 2003.
- [19] U. Hiroyuki, et al., A simplified estimating model for in-plane irradiation using minute horizontal irradiation. *Solar energy Materials & Solar Cells* vol. 67, pp. 611-619, 2001.

- [20] J. Almorox, C Hontoria, Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. *Energy Conversion & Management*, vol. 45, pp.1529–1535, 200

A Importância da Tributação Verde para o Desenvolvimento Sustentável: Uma Abordagem Jurídico-Económica

Sara Sousa e Sofia Ligeiro

Sara Sousa
CERNAS & Coimbra Business
School/ISCAC
Instituto Politécnico de Coimbra,

Coimbra, Portugal

ssousa@iscac.pt

Sofia Ligeiro
Faculdade de Direito,
Universidade de Salamanca,

Salamanca, Espanha
sofia.ligeiro@gmail.com

Resumo - Todos temos direito a um ambiente ecologicamente equilibrado, mas também temos a obrigação de o proteger e preservar quer para as atuais quer para as futuras gerações. Neste contexto, a política fiscal do Estado assume um papel crucial enquanto instrumento de defesa do direito fundamental ao ambiente sustentável e garante da sua proteção. Com a recente Reforma da Fiscalidade Verde em 2015, o Estado Português propôs-se a alcançar um triplo dividendo: proteger o ambiente e reduzir a dependência energética do exterior; fomentar o crescimento e emprego; e contribuir para a responsabilidade orçamental e para a redução dos desequilíbrios externos. Para tal, esta reforma contemplou um conjunto alterações fiscais em áreas fundamentais para a sustentabilidade ambiental, nomeadamente em: energia, transportes, água, resíduos, urbanismo, planeamento do território, florestas e biodiversidade. O presente estudo pretende fazer uma análise detalhada de algumas questões fundamentais da fiscalidade ambiental, recorrendo a duas abordagens distintas, mas complementares - a jurídica e a económica.

Palavras-Chave: Ambiente; Desenvolvimento Sustentável; Tributação Ambiental; Reforma da Fiscalidade Verde; Portugal.

Abstract - We are all entitled to an ecologically balanced environment, but we also have an obligation to protect and preserve it both for the present and for future generations. In this context, the State's Tax Policy plays a crucial role as an instrument for defending the fundamental right to a sustainable environment and guarantees its protection. With the recent Green Taxation Reform in 2015, the Portuguese State proposed to achieve a triple dividend: protect the environment and reduce energy dependence from abroad; fostering growth and jobs; and contribute to budgetary responsibility and the reduction of external imbalances. To this end, this reform included a set of tax changes in key areas for environmental sustainability, namely in: energy, transport, water, waste, urban planning, land planning, forests and biodiversity. The present study intends to make a detailed analysis of some fundamental issues of environmental taxation, through two different, but complement approaches: law and economics.

Key-Words: Environment; Sustainable Development; Environmental Taxes; Green Tax Reform; Portugal.

^a INTRODUÇÃO

Há algumas décadas, os problemas ambientais começaram a gerar preocupação generalizada, principalmente como resultado de vários fatores, nomeadamente a elevada densidade populacional, o considerável nível de industrialização e a forte dependência face ao uso dos combustíveis fósseis. Apesar da sua indiscutível importância em algumas áreas fundamentais da economia, como nos transportes e geração de energia, a utilização dos recursos fósseis, para além de não serem renováveis, são responsáveis pela emissão de gases com efeito de estufa (GEE), nomeadamente de dióxido de carbono (CO₂), com consequências nefastas sobre a temperatura média global da superfície do Planeta Terra - de acordo com Santos et al. (2002), a temperatura média global tem vindo a aumentar desde 1861 e durante o século XX o aumento foi de 0,6 □ 0,2° C. Existem algumas soluções para lidar com este problema e promover uma estratégia de desenvolvimento sustentável, nomeadamente através de um investimento significativo na utilização mais eficiente de recursos, na adoção de tecnologias de captura e sequestro de carbono, e na utilização de recursos não poluentes (Silva et al., 2019).

Estas preocupações são partilhadas pelos decisores políticos portugueses que, nos últimos anos, têm vindo a adotar uma postura cada vez mais proactiva através da adoção de algumas políticas fundamentais, como uma tributação ambiental mais eficiente, culminando, em 31 de dezembro de 2014, no importante passo dado pelo legislador português com a aprovação da Lei n.º 82-D/2014 que “procede à alteração das normas fiscais ambientais nos sectores da energia e emissões, transportes,

água, resíduos, ordenamento do território, florestas e biodiversidade, introduzindo ainda um regime de tributação dos sacos de plástico e um regime de incentivo ao abate de veículos em fim de vida, no quadro de uma reforma da fiscalidade ambiental” (Diário da República, 2014, p.320).

A fiscalidade verde constitui uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento sustentável de um país, representando um fator importante de conciliação entre proteção ambiental e desenvolvimento económico.

Deste modo, no presente artigo aborda-se o conceito-chave de desenvolvimento sustentável e os seus reflexos no ordenamento jurídico português. De seguida, algumas reflexões sobre a tributação ambiental são feitas, enquanto instrumento promotor de um desenvolvimento mais sustentável e norteador da política do ambiente espelhada na política fiscal. São também apresentadas algumas estatísticas sobre os impostos com relevância ambiental em Portugal. O artigo termina com algumas considerações finais.

^bO CONCEITO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL AOS OLHOS DO LEGISLADOR PORTUGUÊS

Uma análise mais detalhada da literatura permite-nos constatar que internacionalmente o conceito de “desenvolvimento sustentável” é um conceito bastante abrangente, para o qual existem diferentes interpretações e definições consoante a abordagem dos autores. Podemos afirmar que o conceito ganhou relevância internacional com a publicação “Our Common Future”, mais conhecida por “Relatório de Brundtland” de 1987, resultado do trabalho de uma comissão nomeada pelas Nações Unidas, presidida pela ex-primeira-ministra norueguesa, Gro Harlem Brundtland. De acordo com o Relatório Brundtland (WCED, 1987, p.43), o “desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades”.

Apesar de se ter tornado mais conhecida a partir do Relatório Brundtland, a expressão “desenvolvimento sustentável” ficou realmente consagrada a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), que teve lugar no Rio de Janeiro, em 1992, e cujo relatório - Agenda 21 - refere: “A humanidade encontra-se em um momento de definição histórica. Defrontamo-nos com a perpetuação das disparidades existentes entre as nações e, no interior delas, o agravamento da pobreza, da fome, das doenças e do analfabetismo, bem como com a deterioração contínua dos ecossistemas de que depende o nosso bem-estar. Não obstante, caso se integrem as preocupações, relativas ao meio ambiente e desenvolvimento e a elas se dedique mais

atenção, será possível satisfazer as necessidades básicas, elevar o nível da vida de todos, obter ecossistemas melhor protegidos e administrados e construir um futuro mais próspero e seguro. São metas que nação alguma pode atingir sozinha; juntos, porém, podemos – numa associação mundial em prol do Desenvolvimento Sustentável” (CNUMAD, 1997, p. 9).

Mais tarde, em junho de 1997, a ONU publica o documento “Agenda for Development”, onde sublinha que: “O desenvolvimento é uma das principais prioridades das Nações Unidas. O desenvolvimento é um empreendimento multidimensional para atingir uma maior qualidade de vida para todas as pessoas. O desenvolvimento económico, o desenvolvimento social e a proteção ambiental são componentes interdependentes do desenvolvimento sustentável que se reforçam mutuamente” (UN, 1997, p.1).

Logo em setembro de 1997, na quarta revisão constitucional, com a Lei Constitucional n.º 1/97, o legislador português introduz no art.º 66.º da Constituição da República Portuguesa (CRP) a seguinte expressão: ‘Para assegurar o direito ao ambiente, no quadro de um desenvolvimento sustentável’.

Desde então, a discussão sobre desenvolvimento sustentável tem-se desenvolvido intensamente e hoje encontramos na literatura diferentes interpretações, mas que se complementam e comprovam o quanto rico e abrangente é o conceito. De acordo com Costa (1999, p. 62): “desenvolvimento sustentável é um enorme “guarda-chuva”, capaz de abrigar uma variada gama de propostas/abordagens inovadoras, progressistas, ou que, pelo menos, caminhem na direção de maior justiça social, melhoria da qualidade de vida da população, ambientes mais dignos e saudáveis e compromisso com o futuro”.

Nesta senda se manteve o legislador português ao implicar a relação necessária entre desenvolvimento sustentável e direito do ambiente, desde logo espelhando-a na CRP ao estabelecer no seu art.º 66.º com a epígrafe “Ambiente e Qualidade de Vida” e no seu n.º 1 plasmar que “Todos têm direito a um ambiente de vida humano, sadio e ecologicamente equilibrado e o dever de o defender”. O legislador assume assim o «compromisso com o futuro» tentando normativamente responder ao desafio «maior qualidade de vida para todas as pessoas» e «a proteção ambiental» como integrantes de um desenvolvimento sustentável que a ONU lançou em “Agenda for Development”.

Desenvolvimento sustentável e direito do ambiente passam a andar de mãos dadas, em que o percurso se revela necessariamente e sempre em paralelo. O legislador português, com o intuito de estabelecer uma ordem ou rumo, tem vindo a preconizar programas de

desenvolvimento tendo por base interesses gerais assentes no desenvolvimento sustentável e também, em 2014, com a Lei 19/2014, Lei de Bases da Política de Ambiente (LBPA) estabelece que “A política de ambiente visa a efetivação dos direitos ambientais através da promoção do desenvolvimento sustentável” (cfr. art.º 2.º). Normativamente, mais uma vez, resulta da Política de Ambiente a inevitável relação entre desenvolvimento sustentável e direito ao ambiente, sendo aquele apresentado como um princípio material deste, “que obriga à satisfação das necessidades do presente sem comprometer as das gerações futuras” (Cfr. art.º 3.º/a).

Ora, satisfazer necessidades do presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras implica a obrigação de proteger o ambiente ao ponto de ele se poder renovar e/ou preservar, na exata medida, a que todos possam dele beneficiar de forma sã. Tendo em conta o direito ao ambiente de cada geração o legislador plasmou o Princípio da Solidariedade entre Gerações como “responsabilidade intra e intergeracional, que obriga à utilização e ao aproveitamento dos recursos naturais e humanos de uma forma racional e equilibrada, a fim de garantir a sua preservação para a presente e futuras gerações” (cfr LBPA. art.º.3/b). Podendo-se considerar feliz este preceito legal ao atribuir como vetor da política ambiental o conceito de desenvolvimento sustentável integrante do Relatório Brundtland (WCED, 1987, p.43), como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades”.

É possível afirmar ser inegável que o conceito de desenvolvimento sustentável, juridicamente reporta ao direito ao ambiente de todos e de cada um independentemente da geração a que pertença, presente ou futura, implicando uma responsabilidade de todos, tanto por ações ocorridas no passado, como pelo futuro. Há assim uma correlação entre o direito ao ambiente de cada geração e do dever de cada uma igualmente o proteger, mesmo que tal signifique um *non facere*, de modo a não ser provocada degradação ambiental. *Non facere*, corroborado pelo facto de a política de ambiente também se subordinar ao Princípio da Prevenção e da Precaução (Cfr. LBPA, art.º. 3.º/c), ou seja, “os responsáveis por comportamentos (ativos ou omissivos) suscetíveis de originar incidências ambientais devem evitar sobretudo a criação de poluições e perturbações na origem e não apenas combater posteriormente os seus efeitos, sendo melhor prevenir a degradação ambiental do que remediá-la a posteriori”, sendo ainda “tarefa do Estado e dos cidadãos a promoção do aproveitamento racional dos recursos naturais, salvaguardando a sua capacidade de renovação e a estabilidade ecológica” (Canotilho e Moreira. 2014, págs. 845 e 846).

Com visão estratégica, para o futuro, a responsabilidade de todos verter-se-á na promoção da preservação, prevenindo e precavendo, de modo a usufruir-se de um desenvolvimento sustentável em termos ambientais.

III. OS IMPOSTOS AMBIENTAIS

A poluição ambiental e o uso de recursos naturais impõem custos externos à sociedade, também conhecidos como externalidades negativas. Estas decorrem da atividade económica de alguns agentes – os poluidores – mas são suportadas por terceiros e pelas futuras gerações. Este mecanismo reflete uma falha de mercado decorrente da não consideração das implicações ambientais no processo de produção de bens e serviços e da exploração de recursos naturais. Deste modo, os preços nos atuais mercados não refletem os custos totais ou reais decorrentes da produção de bens e serviços, gerando grandes distorções no mercado ao estimular atividades que prejudicam a sociedade, mesmo que os benefícios privados sejam substanciais. Estes custos externos podem ser internalizados nos preços dos bens e serviços através da utilização de instrumentos como a tributação ambiental (Kosonen and Nicodème, 2009).

Assumindo designar por custos ambientais as implicações no meio ambiente, decorrentes da produção de bens e serviços resultantes da exploração de recursos naturais, e assumindo a necessidade de os refletir na sua integra no poluidor, é-se levado inevitavelmente à necessária conexão da internalização dos custos ambientais com o princípio do poluidor-pagador. Este princípio encontra-se, desde logo, definido na LBPA como o “que obriga o responsável pela poluição a assumir os custos tanto da atividade poluente como da introdução de medidas internas de prevenção e controle necessárias para combater as ameaças e agressões ao ambiente” (Cfr. art.º 3/e). Entendendo-se que o ponto de ligação nevrálgico entre meio ambiente e política fiscal está no princípio do poluidor-pagador, na medida em que produtor ou utilizador deve suportar o valor correspondente não ao dano em si, mas ao das necessárias medidas e ações para evitar o próprio dano ambiental.

O Estados com objetivos “compreendidos na sua escolha política, nomeadamente (...) de promoção do ambiente (...) e no caso de pretender desincentivar determinados comportamentos, o Estado onera fiscalmente certos actos.” (Carlos, 2007, págs. 28 e 29), podendo ora lançar mão das finalidades fiscais do imposto: de arrecadação de receitas para a cobertura de despesa pública, ora lançando mão da finalidade extrafiscal do mesmo: inibidoras ou estimulantes de comportamentos sociais e económicos, consoante o recurso aos mesmos seja com o intuito de servir para o agravamento “devendo ser munidos de contornos seletivos

e de uma base tributável específica, diretamente relacionada com a capacidade poluidora dos bens ou actividades sujeitos a tributação (Vasques, 2014) ou a atribuição de benefícios fiscais de certas condutas ou ainda em que “São punitivos os impostos que visam desencorajar comportamentos indesejáveis e anti-sociais” (Machado e Costa, 2018, p.18).

Assim, os impostos podem ser articulados com instrumentos económicos com vista à proteção do meio ambiente, na medida em que a existência de um imposto ambiental representa um forte incentivo para gerar menos a substância tributada. Por exemplo, se as emissões de GEE são tributadas, os produtores têm um incentivo para reduzir as emissões, através da utilização de filtros mais eficientes e/ou de métodos de produção menos poluidores. Adicionalmente, a aplicação de um imposto aumentará o preço do bem ou serviço para o consumidor final, incentivando-o a consumir menores quantidades do bem tributado. Deste modo, com a aplicação de impostos ambientais, é esperada uma alteração de comportamento quer dos produtores quer dos consumidores (EEA, 1996, 2016).

Ainda que com a aplicação de impostos ambientais, tanto os produtores como os consumidores provavelmente não cessarão totalmente as actividades poluidoras tributadas, mas os impostos, as taxas e as contribuições ambientais aumentarão as receitas do Estado. Estas podem ser diretamente consignadas para: a resolução de problemas ambientais específicos; a subsidiar produtores e/ou consumidores caso estes se proponham a mudar para actividades ambientalmente mais benignas, representando, deste modo, um segundo incentivo para a melhoria ambiental; a aplicação noutros fins governamentais, permitindo, por exemplo, reduzir a carga fiscal sobre fatores de produção como a mão-de-obra. Deste modo, para além da melhoria ambiental, assistir-se-ia a uma transferência do objeto de tributação, passado de um “bem” – fatores de produção – para um “mal” - poluição (EEA, 1996, 2016).

Por outro lado, com a tributação o preço do bem ou serviço poluidor sobe, encorajando novos processos de satisfazer às necessidades. Essa inovação pode levar a novas tecnologias, processos, produtos e serviços. Os impostos ambientais podem, portanto, incentivar as economias a serem mais inovadoras e a desenvolverem processos menos poluidores e a utilização mais eficiente dos recursos naturais. Tais mudanças estruturais na produção e no consumo podem ser incentivadas por impostos ambientais, especialmente se os seus sinais, através de uma subida nos preços, forem graduais e previsíveis durante longos períodos de tempo, obrigando a mudanças efetivas no comportamento quer dos produtores quer dos consumidores (EEA, 1996, 2016).

De acordo com a Comissão Europeia e o Eurostat, imposto ambiental pode ser definido como “base tributável de um determinado elemento que se provou ser especialmente danoso para o ambiente quando usado ou libertado”. Na prática, pode-se afirmar que o imposto ambiental é aplicado a bens que provocam poluição quando são produzidos, consumidos, eliminados ou a actividades que geram um impacto ambiental negativo, visando modificar o seu preço relativo ou custos associados e/ou obter receita para financiar programas de proteção ou recuperação do equilíbrio ecológico (CE, 2019; Eurostat, 2019).

IV OS NÚMEROS DA TRIBUTAÇÃO VERDE EM PORTUGAL

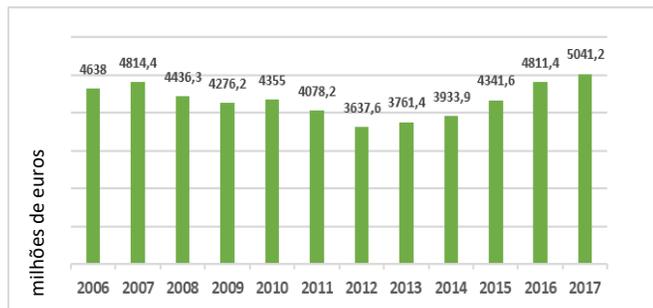
A Comissão para a Reforma da Fiscalidade Verde apresentou ao executivo um conjunto de 59 propostas: 14 relativas ao setor da energia e transportes e água; 10 para os resíduos; 6 no âmbito do planeamento e território, para o sector das florestas e 2 da biodiversidade, indo assim de encontro ao intento do despacho n.º 1962/2014, de 7 de fevereiro que nomeou a referida comissão, ao prever com a reforma implementar desenvolver mecanismos que permitam a internalização das externalidades ambientais. Tais propostas estão em suporte à Reforma da Fiscalidade Verde em Portugal através da Lei n.º 82-D/2014, em vigor desde o dia 1 de janeiro de 2015. Esta reforma introduz algumas alterações tributárias em setores-chave para a sustentabilidade do país, como energia e emissões, transportes, água, resíduos, florestas e biodiversidade. Além disso, introduz um regime de tributação para sacos de plástico e um conjunto de incentivos ao abate de veículos em fim de vida (AR, 2014).

Inserindo-se os impostos ambientais em quatro categorias principais: energia, transportes, poluição e recursos, os impostos sobre a energia incluem os impostos sobre os produtos energéticos utilizados tanto para fins de transporte como para instalações fixas; os impostos sobre os transportes incluem os impostos associados à propriedade e à utilização de veículos a motor e ainda os impostos sobre outros equipamentos de transporte, tais como aeronaves e serviços de transporte conexos; os impostos sobre a poluição incluem impostos sobre as emissões atmosféricas medidas ou estimadas, a água, a gestão de resíduos e o ruído; por último, os impostos sobre os recursos incluem quaisquer impostos relacionados com a extração ou utilização de um recurso natural (CE, 2017a,b).

Em 2017, o valor dos impostos com relevância ambiental ascendeu a cerca de 5 mil milhões de euros, registando-se uma subida de 4,8% relativamente ao ano anterior. Este foi o quinto ano consecutivo com aumentos de receita para este tipo de impostos (INE, 2018). Na

figura 1 são apresentados os valores dos impostos com relevância ambiental em Portugal de 2006 até 2017.

Figura 1: Impostos com Relevância Ambiental, em valor absoluto, em Portugal, 2006-2017

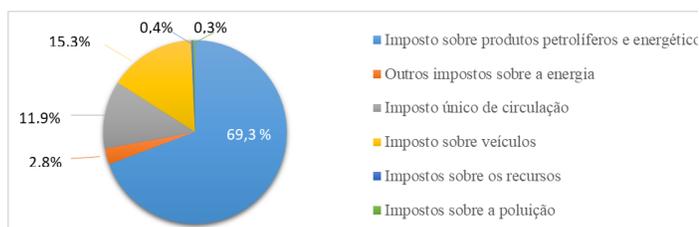


Fonte: INE, 2018. O aumento de 4,8% na receita dos impostos com relevância ambiental foi próximo do observado para a totalidade da receita de impostos e contribuições sociais (variação de +5,3%), a importância relativa dos impostos com relevância ambiental na estrutura fiscal portuguesa manteve-se praticamente idêntica a 2016 (2,6%).

A receita com o conjunto do imposto sobre produtos petrolíferos e energéticos, do imposto sobre veículos e do imposto único de circulação representou, em 2017, cerca de 97% do total dos impostos com relevância ambiental. Pela mesma ordem, a receita com aqueles impostos cresceu 2,6%, 12,7% e 6,0%, face ao ano anterior.

Por categorias, em 2017, os impostos sobre a energia representavam 72,1% do total da receita dos impostos com relevância ambiental. Os impostos sobre os transportes tinham um peso de 27,2%. Já os impostos sobre os recursos e sobre a poluição tinham uma expressão insignificante na estrutura dos impostos com relevância ambiental (0,4% e 0,3%, respetivamente) (INE, 2018). A figura 2 apresenta os valores dos impostos ambientais em Portugal, para o ano de 2017, por categoria de imposto.

Figura 2: Impostos com Relevância Ambiental em Portugal, por categoria em 2017

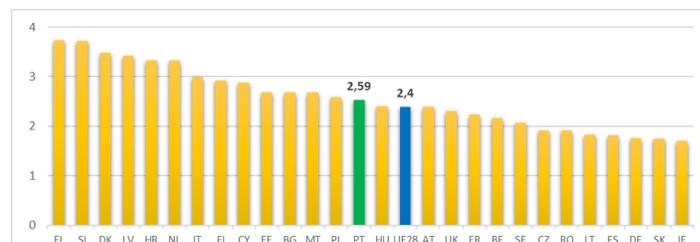


Fonte: INE, 2018

Comparando com outros países da União Europeia (UE), em 2017, o peso das receitas da tributação verde no Produto Interno Bruto (PIB) em Portugal ascendeu a 2,59 %, ligeiramente acima da média da UE-28 de 2,40 % (CE, 2019; Eurostat, 2019). Os valores apresentados na figura

3, permitem a comparação da tributação ambiental entre os 28 Estados-Membros da UE, tendo em conta a dimensão das diferentes economias nacionais.

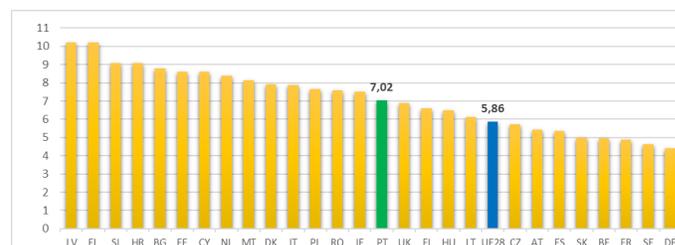
Figura 3: Receitas Fiscais Ambientais em % do PIB, 2017



Fonte: Eurostat, 2019

No mesmo ano, a fiscalidade verde em Portugal contribuiu com 7,02 % das receitas totais provenientes de impostos e contribuições para a segurança social. Apesar deste valor estar acima da média comunitária (5,86%), ainda existe alguma margem para, por exemplo, transferir impostos do trabalho para os impostos ambientais (CE, 2019; Eurostat, 2019). Os valores da figura 4 mostram as diferentes divisões tributárias que os diferentes Estados-Membros têm entre o ambiente e outros fatores, como o trabalho e o capital.

Figura 4: Receitas Fiscais Ambientais em % das Receitas Totais dos Impostos e Contribuições para a Segurança Social



Fonte: Eurostat, 2019

V - CONCLUSÕES

A tributação ambiental constitui um dos instrumentos mais eficazes e eficientes para alcançar os objetivos das políticas ambientais de um país, como Portugal, e representa também uma forma de contribuir para a equidade, na medida em que incorpora nos preços as externalidades negativas da poluição ou de outras atividades prejudiciais para o ambiente e ajuda a promover mudanças de comportamento.

De facto, os impostos ambientais desempenham um papel fundamental enquanto incentivos para a adoção de hábitos de consumo mais sustentáveis, de forma a estimular uma utilização mais eficiente dos recursos

naturais e a incentivar a sociedade a alterar comportamentos que prejudicam a utilização dos recursos, dos ecossistemas e da biodiversidade.

O legislador português através dos normativos referidos evidencia a tentativa de integrar conceitos económicos, desenhando abordagens legais que espelham uma economia do ambiente espelhada na política fiscal, pretendendo com ela não só arrecadar receitas, mas também diminuir os níveis de poluição ambiental e da utilização de recursos naturais não renováveis, sempre na tentativa de que os custos quer os benefícios sejam, na sua totalidade, considerados na análise custo-benefício, bem como aumentar a eficiência na utilização dos recursos naturais.

Deste modo, pode-se dizer que o Estado Português assume a incumbência do ambiente, realçada na importância da preservação e equilíbrio ecológico, refletindo-a na política fiscal com a importante tarefa de “assegurar que a política fiscal compatibilize desenvolvimento com proteção do ambiente e qualidade de vida.” (cfr. CRP art.º 66/2-h). Ou seja, visa a criação de tributos (impostos, taxas, contribuições) e de benefícios fiscais que embora promovam a proteção do ambiente, permitam em simultâneo o desenvolvimento do país, um desenvolvimento sustentável assente na prevenção, de modo a não colocar em causa a satisfação das necessidades do presente, mas também sem comprometer as gerações futuras, tendo por base o princípio da solidariedade entre gerações.

REFERÊNCIAS

- APA(2018): Relatório do Estado do Ambiente 2018, Agência Portuguesa do Ambiente, junho de 2018.
- APREN (2019): Boletim Eletricidade Renovável – abril 2019, Associação Portuguesa de Energias Renováveis, 2019.
- AR (1997): Lei Constitucional n.º 1/97, Diário da República n.º 218- 1ª Série-A, Assembleia da República, 20 de setembro de 1997.
- AR (1976): Decreto de aprovação da Constituição, Diário da República n.º 86/1976, Série I, 1976-04-10, Aditado pelo/a Artigo 3.º da Lei Constitucional n.º 1/2005 - Diário da República n.º 155/2005, Série I-A de 12 Agosto de 2005.
- AR (2014): Lei n.º 19/2004 – Lei de bases da política de ambiente, Diário da República n.º 73 – 1.ª Série, Assembleia da República, 14 de abril de 2014.
- AR (2014): Lei n.º 82-D/2014, Diário da República n.º 252, 1ª Série, Assembleia da República, 31 de dezembro de 2014.
- Aragão, A. (2012): A natureza não tem preço... mas devia. O dever de valorar e pagar os serviços dos ecossistemas, Coimbra Editora.
- Canotilho, J.J, Gomes e Moreira, V. (2014): Constituição da República Portuguesa Anotada, Vol. I, 4ª Edição, outubro 2014, Coimbra Editora.
- Carlos, A.B. (2007): Impostos - Teoria Geral, outubro 2007, Coimbra: Almedina.
- CE (2017a): Tax policies in the European Union: 2017 Survey, Comissão Europeia, Luxemburgo, 2017
- CE (2017b): Taxation Trends in the European Union: 2017 Edition, Comissão Europeia, Luxemburgo, 2017
- CE (2019): O reexame da aplicação da política ambiental 2019 - Relatório sobre Portugal, Documento de Trabalho dos Serviços da Comissão Europeia, Bruxelas, 2019.
- CNUMAD (1992): Agenda 21, São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Brasil.
- CNUMAD (1997): Agenda 21, IPARDES, Curitiba, Brasil.
- Costa, H. (1999): “Desenvolvimento Urbano Sustentável: uma contradição de termos?”, Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, v. 2, pp. 55-71.
- Dourado, A. P. (2015): Direito Fiscal, novembro 2015, Coimbra: Almedina.
- Diário da República, 1.ª série, N.º 252, 31 de dezembro de 2014.
- EC (1992): Towards Sustainability - a European Community Programme of Policy and Action in Relation to the Environment and Sustainable Development, Vol. II, COM (92) 23 final, European Commission, Brussels.
- EC (1995): “Towards fair and efficient pricing in transport - Policy options for internalising the external costs of transport in the European Union”, Green Paper, Brussels.
- EEA (1996): Environmental Taxes – Implementation and Environmental Effectiveness, European Environment Agency, Copenhagen, 1996.
- EEA (2016): “Environmental Taxation and EU environmental policies”, European Environment Agency Report N.º 17/2016, Denmark.
- Eurostat (2019): Environmental Tax Revenues, European Commission.
- INE (2018): Impostos e Taxas com Relevância Ambiental 2017, Instituto Nacional de Estatística, 8 de outubro de 2018.
- Kosonen, K. and Nicodème, G. (2009): “The Role of Fiscal Instruments in Environmental Policy”, CESifo Working Paper Series No. 2719, July 2009, CESifo Group Munich.
- Machado, J.E.M e Costa, P.N. (2018): Manual de Direito Fiscal – perspectiva multinível- 2ª Edição, Almedina.
- OECD (1996): Implementation Strategies for Environmental Taxes, OECD, Paris
- Santos, F.D., Moita, R., e Forbes, K. (eds) (2002): Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures. SIAM Project, Grádiva, Fundação Calouste Gulbenkian, Fundação para a Ciência e Tecnologia.
- Silva, S., Soares, I., Afonso, O. (2019): “The Double Dividend of a New Environmental Tax Reform with Promotion of Resource Substitution”, Proceedings of the 4th International Conference on Energy and Environment: bringing together Engineering and Economics, ICEE, organized by University of Minho and University of Porto, 16-17 May 2019, University of Minho, Guimarães, Portugal.
- UN (1997): Agenda for Development, United Nations, 15 October 1997.
- Vasques, S. (2014): Manual de Direito Fiscal, Edições Almedina.
- WCED (1987): Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development, Oxford University Press.
- G. Eason, B. Noble, and I. N. Sneddon, “On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions,” Phil. Trans. Roy. Soc. London, vol. A247, pp. 529–551, April 1955. (*references*)
- J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- I. S. Jacobs and C. P. Bean, “Fine particles, thin films and exchange anisotropy,” in Magnetism, vol. III, G. T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271–350.
- K. Elissa, “Title of paper if known,” unpublished.
- R. Nicole, “Title of paper with only first word capitalized,” J. Name Stand. Abbrev., in press.
- Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, “Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface,” IEEE Transl. J. Magn. Japan, vol. 2, pp. 740–741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetism Japan, p. 301, 1982].
- M. Young, The Technical Writer’s Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.

Efeito da aplicação de condicionadores do solo na biodisponibilidade de metais pesados

Desiree Lameo Silva, Manuel Rodrigues, Tatiane Bosco, Margarida Rodrigues

1st Desiree Lameo Silva
Escola Superior Agrária
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
desiree_lameo@hotmail.com

2nd Manuel Ângelo Rosa Rodrigues
Escola Superior Agrária
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
angelor@ipb.pt

3th Tatiane Cristina Dal Bosco
Departamento de Engenharia
Ambiental
Universidade tecnológica Federal do
Paraná
Londrina, Brasil
tatianebosco@utfpr.edu.br

4th Margarida Maria Pereira Arrobas
Rodrigues
Escola Superior Agrária
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
marrobas@ipb.pt

Abstract— Neste trabalho procura-se avaliar o impacto da aplicação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) ao solo e na acumulação de metais pesados na alface, usando condicionadores como o biochar e zeólitos. Os principais resultados mostram que, quando se comparam dois ciclos de alface, o primeiro foi marcado pela influência do RSU que incrementou a produção de biomassa e a concentração de cromo (Cr) nas plantas, bem como mascarou o efeito dos condicionadores (biochar e zeólitos). Para o segundo ciclo, ressalta-se a atividade do biochar para melhoria da produção de biomassa e disponibilizou mais Cr para as plantas, enquanto os zeólitos contribuíram para o aumento de níquel e cádmio no solo, e a estabilização do RSU a longo do prazo permitiu maior clareza na atuação dos condicionadores, além das condições climática da estação (primavera) terem permitido melhor desenvolvimento das plantas. De modo geral o comportamento dos metais pesados no solo seguiu o padrão que já fora visto na biomassa. Assim, ação dos condicionadores variou em função do tipo de metal presente.

Keywords— Resíduos sólidos urbanos; biochar; zeólitos; metais pesados, *Lactuca sativa*.

^a INTRODUÇÃO

A destinação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é um dos desafios da sociedade atual, pois os hábitos de vida, de consumo e as novas tecnologias causam aumento na quantidade e variedade dos resíduos gerados [1]. Uma das alternativas é a reutilização desses materiais por diferentes métodos de valoração. Porém, para que essa reutilização seja desempenhada de maneira efetiva é necessário conhecer previamente as características dos RSU [2].

Sabe-se que mais da metade dos RSU provêm de resíduos orgânicos. Estes resíduos possuem um grande potencial de decomposição e de posterior reutilização quando tratados adequadamente. A compostagem consiste em uma das soluções menos complexas e economicamente viável, que resulta num produto com nutrientes que pode ser utilizado como fertilizante [3,4]. O fertilizante, por sua vez, aumentará a disponibilidade de nutrientes no solo se a composição do RSU for adequada. Para isso, a separação na origem é um dos fatores de maior importância, pois quando ocorre a mistura de diversos tipos de materiais pode verificar-se a contaminação do produto final e consequentemente gerar danos para o meio ambiente e na saúde humana [5,6,7,8,9,10].

Alguns dos contaminantes causam maior preocupação são os metais pesados, presentes em inúmeros produtos de uso cotidiano, que podem entrar em contato com a parte orgânica e prejudicar o resultado final da compostagem [11].

A incorporação no solo de compostos orgânicos com origem em RSU, e por isso com alguns metais pesados na composição, juntamente com condicionadores ricos em cargas elétricas, é uma prática que poderá resultar na minimização dos efeitos do potencial de contaminação do composto orgânico com origem nos RSU. Estes condicionadores possuem na sua composição elevada capacidade de troca catiônica e cavidades que podem reter contaminantes [12,13]. No presente estudo foram usados o biochar proveniente da queima anaeróbia de biomassa de acácia e zeólitos de origem mineral (um aluminossilicato hidratado).

Para quantificar os níveis de absorção de metais pelas plantas e os benefícios da presença de condicionadores, foi escolhida a alface, uma planta que é simultaneamente uma acumuladora de metais do solo em sua biomassa e possui crescimento rápido [14,15].

O objetivo geral deste trabalho consiste em avaliar o efeito da aplicação de condicionadores ao solo (biochar e zeólitos) na diminuição da biodisponibilidade de metais pesados provenientes de resíduos sólidos urbanos compostados e aplicados ao solo, usando como planta bioindicadora da disponibilidade de metais no solo a alface (*Lactuca sativa*, L.).

^b MATERIAL E MÉTODOS

a. Delineamento experimental

Foi realizado um ensaio com dois ciclos de alface, C1 no inverno e C2 na primavera, tendo como fonte de metais pesados no solo um RSU.

A aplicação dos produtos (biochar, zeólitos e RSU) foi feita apenas no início do primeiro ensaio para visualização dos seus efeitos a longo prazo. As combinações dos tratamentos foram: Solo (S); Solo + Nutrientes (S-N); Solo + Nutrientes + Biochar (S-N-B); Solo + Nutrientes + Zeólitos (S-N-Z); Solo + Nutrientes + Biochar + Zeólitos (S-N-BZ); Solo + Nutrientes + RSU (S-N-RSU); Solo + Nutrientes + RSU + Biochar (S-N-RSU-B); Solo + Nutrientes + RSU + Zeólitos (S-N-RSU-Z); Solo + Nutrientes + RSU + Biochar + Zeólitos (S-N-RSU-BZ).

Com estes tratamentos pretendeu-se avaliar os efeitos da aplicação de biochar e zeólitos, individualmente e em conjunto, na biodisponibilidade de metais pesados. Para cada ciclo de alface, os

tratamentos foram estabelecidos em quadruplicata em vasos que tinham 3 kg de solo e uma alfaca.

b. Caracterização do solo

O solo usado no experimento foi o regossolo eútrico de origem coluvial, de textura franco-limosa, coletado entre 0-20 cm de profundidade e crivado em malha de 4 mm e suas características iniciais podem ser observadas na Tabela I.

TABELA I. CARACTERÍSTICAS INICIAIS DO SOLO

Característica	
Matéria orgânica (%)	1,62
pH H ₂ O	5,58
pH KCl	4,96
P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	124,00
K ₂ O (mg kg ⁻¹)	107,00
CTC ⁽¹⁾ cmol(+) kg ⁻¹	15,66
Ni (mg kg ⁻¹)	6,88
Pb (mg kg ⁻¹)	2,64
Cr (mg kg ⁻¹)	0,70
Cd (mg kg ⁻¹)	0,16

⁽¹⁾ CTC- Capacidade de Troca Catiônica

c. Condicionadores

O RSU utilizado neste estudo é proveniente da empresa portuguesa Resíduos do Nordeste, empresa intermunicipal que faz a recolha dos resíduos sólidos urbanos indiferenciados em 12 municípios do nordeste transmontano. As partículas orgânicas de menores dimensões sofrem biodigestão para produção de biogás e as de maiores dimensões são sujeitas ao processo de compostagem. O produto final é comercializado para aplicação em culturas plurianuais. Nas modalidades com RSU foram adicionadas 40 gramas por vaso, uma dose equivalente a 3 vezes a quantidade permitida por ha (10 toneladas/ha/ano), definida pelo Decreto-Lei 103/2015 [16], a fim de potenciar o efeito no solo e na matéria seca das alfases. De acordo com a International Biochar Initiative (IBI), a quantidade de biochar a aplicar ao solo pode variar entre 5 e 50 ton ha⁻¹ [17]. Neste trabalho foram aplicadas 20 gramas por vaso, quantidade equivalente a 13,3 ton ha⁻¹. A equivalência entre a quantidade a aplicar por ha e por vaso teve por base os registros de Rowell (1994) [18]. A quantidade de zeólitos aplicada foi também equivalente a 13,3 ton ha⁻¹, seguindo de perto as quantidades sugeridas por Milosevic e Milosevic (2009), em torno de 10 ton ha⁻¹ [19].

d. Bioindicador – Alfaca

As alfases (*Lactuca sativa* L.) usadas no C1 eram plantas de viveiro prontas para transplantação, da variedade frisada de coloração roxa. No segundo ciclo, C2, foi usada a alfaca da variedade frisada, mas verde. No primeiro ciclo, o plantio ocorreu em 3 de outubro de 2017 e as plantas foram coletadas no dia 5 de dezembro de 2017. No segundo ciclo de alfases, foi iniciado em 19 de março de 2018 e coletado em 5 de maio de 2018.

°ANÁLISES

a. Solo

As características do solo foram determinadas ao início e fim do experimento, avaliando pH, matéria orgânica, Capacidade de troca catônica de acordo com metodologia proposta por Van Reeuwijk (2002) [20], fósforo (P₂O₅) e potássio (K₂O) pelo método Égner-Riehm [21] e os metais pesados chumbo (Pb), Cádmio (Cd), Níquel (Ni) e Crómio (Cr) foram determinados pelo método de Lakanen e Ervio (1971) [22].

b. Tecidos vegetais

Nos tecidos vegetais foram realizadas as seguintes determinações: biomassa: i) as alfases foram secas em uma estufa de ventilação forçada até peso constante, pesadas para registo da

materia seca de cada uma, e posteriormente moídas num moinho com um crivo de malha 1 mm. Após digestão nítrica das amostras com recurso a um equipamento de digestão por microondas foi determinada a concentração de metais pesados, Pb, Cd, Ni e Cr, por espectrofotometria de absorção atômica. O fósforo foi determinado por calorimetria pelo método de molibdato de amônio azul, usando ácido ascórbico com agente redutor [23].

c. Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância no programa JPM 7. Quando ocorreram diferenças significativas as médias foram separadas pelo teste de comparação múltipla de médias Tukey (HSD ($\alpha = 0,05$)).

⁴RESULTADOS

a. Solo

i. Características físico-químicas

Os resultados das características finais do solo podem ser observados na Tabela II. De modo geral as características do solo ao final do experimento foram marcadas por um aumento das percentagens de matéria orgânica no solo na presença de biochar e RSU, o que está de acordo com a sua origem orgânica [24, 25]. A adição de RSU contribuiu para o aumento da disponibilidade de fósforo no solo. O potássio aumentou na presença de zeólitos, já que este material contém potássio na sua composição, funcionando como fonte suplementar deste nutriente [26].

A CTC teve incremento genérico na presença de biochar e zeólitos, mas o aumento mais significativo ocorreu no tratamento com RSU aplicado de forma isolada, efeito este explicado pelo fato de este tipo de material adicionar ao solo cargas eletronegativas que resultam no aumento da capacidade do solo para reter cátions melhorando assim esta característica química do solo [27].

TABELA II- CARACTERÍSTICAS DO SOLO NO FINAL DO ENSAIO

Tratamentos	M.O	pH H ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	CTC
	(%)	(mg.kg ⁻¹)			(cmol (+) kg ⁻¹)
S	1,62 f ± 0,07	6,79 a ± 0,06	59,00 c ± 6,83	49,00 e ± 2,16	15,94 ab ± 0,98
S-N	1,90 c ± 0,03	6,09 d ± 0,12	101,00 b ± 16,83	51,50 e ± 2,89	15,87 ab ± 0,14
S-N-B	1,89 c ± 0,03	6,29 c ± 0,04	119,25 b ± 9,29	48,75 e ± 0,96	15,75 ab ± 0,41
S-N-Z	1,53 g ± 0,06	6,05 d ± 0,03	87,33 bc ± 11,24	83,00 cd ± 11,49	14,79 ab ± 0,70
S-N-BZ	1,69 e ± 0,01	6,02 d ± 0,12	109,00 b ± 5,47	93,67 bc ± 3,51	14,50 b ± 0,27
S-N-RSU	1,80 d ± 0,01	6,55 b ± 0,10	199,33 a ± 15,27	71,25 d ± 5,06	18,51 a ± 0,96
S-N-RSU-B	1,95 b ± 0,01	6,54 b ± 0,09	207,25 a ± 20,66	74,00 d ± 5,89	17,55 ab ± 1,82
S-N-RSU-Z	1,86 c ± 0,01	6,68 ab ± 0,02	220,00 a ± 26,52	107,25 b ± 5,85	17,45 ab ± 17,45
S-N-RSU-BZ	2,16 a ± 0,01	6,50 b ± 0,07	211,00 a ± 17,07	125,33 a ± 8,50	16,48 ab ± 3,19

Letras iguais na coluna indicam a ausência de diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de comparação múltipla de médias de Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

2. Metais pesados

Na Tabela III, pode-se observar as concentrações de metais pesados no solo.

Para o níquel, os tratamentos S-N-B, S-N, S-N-RSU (5,79, 5,93, 6,14 mg.kg⁻¹ respectivamente) diferiram significativamente de S-N-Z (8,30 mg.kg⁻¹). Aparentemente, nos tratamentos sem RSU, os zeólitos disponibilizam maior quantidade deste metal. Nos tratamentos com RSU, provavelmente a adição deste composto mascarou o efeito seja do biochar ou dos zeólitos, o que resultou na ausência de diferenças significativas entre as médias das concentrações deste elemento no solo. Pode dizer-se também que a adição de RSU não colocou quantidade suplementar significativa de níquel no solo.

TABELA III. METAIS PESADOS NO SOLO

Tratament os	Metais pesados (mg.kg ⁻¹)			
	Ni	Pb	Cr	Cd
S	6,73 ab ± 0,68	3,57 ab ± 0,87	0,17 e ± 0,06	0,06 a ± 0,05
S-N	5,93 b ± 0,26	4,09 a ± 1,03	0,23 de ± 0,07	0,05 a ± 0,05
S-N-B	5,79 b ± 0,70	0,45 c ± 0,21	0,42 c ± 0,03	0,13 a ± 0,05
S-N-Z	8,30 a ± 1,81	0,51 c ± 0,14	0,46 c ± 0,03	0,07 a ± 0,07
S-N-BZ	7,47 ab ± 1,13	3,04 abc ± 2,33	0,65 ab ± 0,04	0,12 a ± 0,07
S-N-RSU	6,14 b ± 0,86	4,31 a ± 0,79	0,51 b ± 0,04	0,08 a ± 0,09
S-N-RSU-B	7,41 ab ± 0,92	1,21 bc ± 0,28	0,58 b ± 0,06	0,15 a ± 0,10
S-N-RSU-Z	6,76 ab ± 0,57	2,46 abc ± 0,33	0,57 b ± 0,02	0,14 a ± 0,08
S-N-RSU-BZ	6,58 ab ± 1,24	3,08 abc ± 1,72	0,72 a ± 0,03	0,12 a ± 0,013

Letras iguais na coluna indicam a ausência de diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de comparação múltipla de médias de Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

Em relação às concentrações de Pb, verificou-se maior quantidade disponível deste metal no solo no tratamento com a aplicação isolada de RSU (4,31 mg kg⁻¹). Estes resultados vão de encontro aos encontrados por Lopes et al. (2014) [28], em estudos

realizados em hortas urbanas. Os condicionadores biochar e zeólitos parecem ter tido um papel significativo na imobilização deste metal.

Relativamente ao Cr os resultados da sua disponibilidade no solo parecem aumentar com a presença de RSU e a ação conjugada de biochar e zeólitos parece contribuir para o aumento da sua disponibilidade. No que diz respeito ao Cd, não se verificaram diferenças significativas entre os tratamentos e a adição de RSU não parece ter afetado a presença deste metal. Os teores naturalmente existentes no solo podem estar associados às práticas de fertilização com adubos fosfatados que podem ter algum cádmio na sua composição [29].

b. Matéria seca

i. Biomassa

Na Fig. 1 observa-se a produção de matéria seca dos dois ciclos de alfices. Nota-se que a variação das produções se deu primeiramente em função das condições ambientais, uma vez que o ciclo 1 foi realizado no inverno que resultou em alfices com menores valores de matéria seca relativamente ao ciclo que decorreu na primavera. Ao analisar os ciclos de maneira conjunta tem-se que a aplicação do biochar de maneira isolada gera as melhores produções, a par do tratamento de aplicação de nutrientes sem condicionadores. Estas produções foram significativamente superiores às demais. Os resultados podem explicar-se pelo efeito dos nutrientes aplicados sem a influência da presença dos metais pesados do RSU.

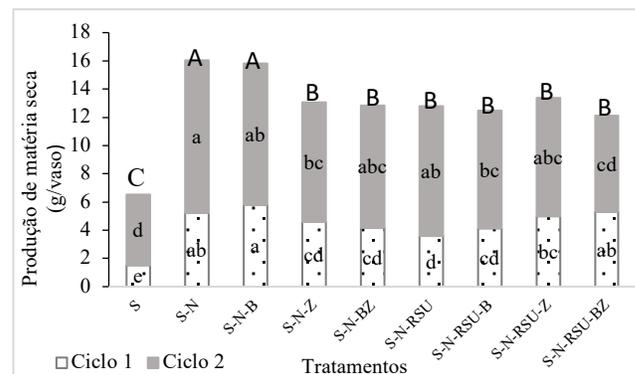


Fig. 1. Produção de matéria seca

Na Fig. 2 a e b observa-se o aspecto das alfaces na semana de sua coleta, a parte menos desenvolvida (parte inferior da foto) corresponde ao tratamento S, sem aplicação de nutrientes ou RSU. A Fig. 2a corresponde ao ciclo 1 e a Fig. 2b ao ciclo 2.



Fig. 2a) 1º ciclo de alface

Fig. 2b) 2º ciclo de alface

ii. Metais pesados

Em relação aos metais pesados os resultados dos dois ciclos estão nas Fig. 3 e 4. Aparentemente, a adição isolada de biochar, zeólitos e RSU no ciclo 1 reduziram a atividade do Ni. Para o ciclo 2 não houve diferenças significativas entre os tratamentos.

Para o Pb, suas concentrações sofreram incremento no segundo ciclo, variando entre 1,28 mg kg⁻¹ em S-N-B e 11,57 mg kg⁻¹ em S-N [30], destacando o efeito de imobilização deste metal pelo biochar e zeólitos, o que está de acordo com a menor disponibilidade no solo já registrada..

Alfaces cultivadas com aplicação de RSU na proporção 10 t ha⁻¹ como neste estudo, obtiveram concentração de chumbo de até 4,95 mg.kg⁻¹ em diferentes estações de cultivo [31]. As diferenças para os resultados deste ensaio podem estar relacionadas não só com a quantidade de RSU aplicada, mas também com a própria natureza do RSU. Aparentemente, os condicionadores aplicados mudaram a dinâmica deste metal.

A concentração de cromo nos tecidos, diminuíram do primeiro para o segundo ciclo. No primeiro ciclo variou entre 19,50 mg kg⁻¹ registrada em S e 30, 81 mg kg⁻¹ em S-N-RSU-BZ. No segundo ciclo variaram entre 12,22 mg kg⁻¹ em S-N-BZ e 26,05 mg kg⁻¹ em S. Apesar das diferenças verificadas não foi possível identificar um padrão para justificação.

As concentrações de cádmio, Fig. 4, tiveram o mesmo comportamento entre ciclos, tendo diminuído no segundo ciclo. No primeiro ciclo variaram entre 6,91 e 9,32 mg.kg⁻¹, respectivamente em S e S-N-BZ. A concentração em S e S-N-B foi significativamente inferior às restantes. No tratamento S-N-BZ, a maior concentração mostra que os dois condicionadores em conjunto não contribuíram para imobilizar o cádmio.

Segundo o Regulamento n° 1881/2006 [32], da Comissão de Regulamentação da União Europeia, define os níveis máximos de contaminantes em gêneros alimentícios, cádmio poderia ter até 0,10 mg kg⁻¹, em relação ao peso fresco. Considerando que o peso seco médio de vegetais é 10% da massa fresca, os valores obtidos estão abaixo do permitido, não se verificando por isso situação de contaminação.

Em resumo, pode dizer-se que o RSU aplicado não contribuiu de forma significativa para o aumento da concentração de metais pesados nos tecidos das alfaces. Também não se verificou efeito de imobilização, na presença de biochar e zeólitos conjugados, na

concentração dos metais nos tecidos. As menores concentrações verificadas no segundo ciclo podem estar relacionadas com o efeito de diluição da concentração associado à maior produção registrada.

O efeito positivo foi pouco expressivo porque o solo usado não têm grandes limitações químicas. Trata-se de um solo ligeiramente ácido, com um valor de pH que limita a disponibilidade dos metais pesados no solo. Por outro lado, a sua capacidade de troca catiônica já é classificada de média [33], o que torna mais difícil fazer realçar as eventuais vantagens dos condicionadores.

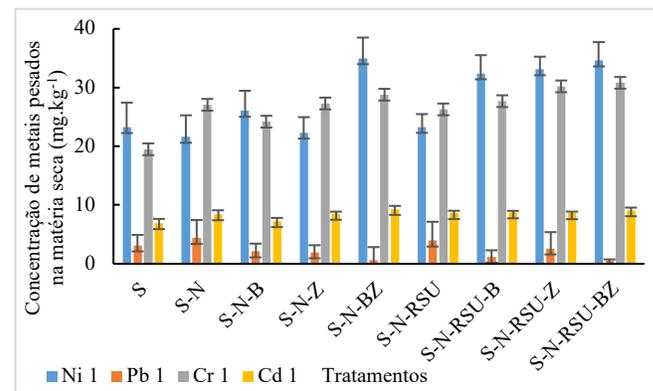


Fig. 3. Concentração de metais pesados ciclo 1.

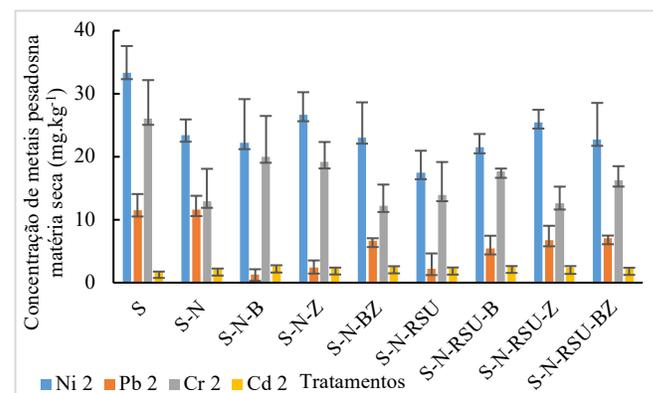


Fig. 4. Concentração de metais pesados ciclo 2

CONCLUSÃO

A adição de condicionadores contribui para a melhoria das condições de fertilidade dos solos. A influência dos condicionadores pode variar em função do tipo do metal. O biochar parece possuir maior capacidade de imobilização de metais do que os zeólitos.

Parece relevante a necessidade de desenvolver mais investigação no efeito individual dos condicionadores (biochar e zeólitos) a fim de otimizar seus efeitos na gestão de nutrientes e elementos poluentes no solo

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Instituto Politécnico de Bragança por possibilitar este estudo, aos Resíduos do Nordeste por fornecer o RSU e aos professores que tornaram este trabalho possível.

REFERÊNCIAS

- Korf, E. P., Melo, E. F. R. Q., Thomé, A., Escosteguy, P. A. V., “Retenção de metais em solo da antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos de passo fundo – RS”, *Revista de ciências ambientais*, vol. 2, pp. 43-60, 2008.
- Tressoldi, M., Consoni, A. J. “Disposição de resíduos”, in *Geologia de engenharia*, vol. I, in Oliveira, A. M. S., Brito, S. N. A., Eds. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, pp. 343-360, 1998.
- Woodbury, P.B., “Trace elements in municipal solid waste compost: a review of potential detrimental effects on plants, biota, and water quality”, *Biomass and Bioenergy*, vol. 3, pp. 239- 259, julho 1992.
- Mantovani, R. R., Ferreira, M. E., Cruz, M. C. P., Chiba, M. K., Braz, L. T., “Calagem e adubação com vermicomposto de lixo urbano na produção e nos teores de metais pesados em alface”, *Horticultura Brasileira*, 21, pp. 494-500, julho 2003.
- Gallego S. M., Pena L. B.; Barcia R. A., Azpilicueta C. E., Iannone M. F., Rosales E. P., Zawoznika M. S., Groppaa M. D., Benavides M. P., “Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: Insight into regulatory mechanisms”, *Environmental and Experimental Botany*, vol. 83, pp. 33-46, abril 2012.
- Nascentes, R., Estudo de mobilidade de metais em um solo residual compactado. Tese de doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- Venezuela, T. C., Determinação de contaminantes metálicos (metal tóxico) num solo adubado com composto de lixo em área olerícola no município de Nova Friburgo. Dissertação mestrado, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2001.
- Marques, R. F. P. V. Impactos ambientais da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo e água superficial em três municípios de Minas Gerais. Dissertação de mestrado, Universidade de Lavras, Lavras, 2011.
- Aniceto, K. C. P., Horbe, A. M. C., “Solos urbanos formados pelo acúmulo de resíduos em Manaus, Amazonas, Brasil”, *Acta Amazônica*, vol. 42, pp. 135-148, março 2012.
- Gouveia, N., “Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social”. *Ciência e saúde coletiva*, vol. 17, pp.1503-1510, 2012.
- Jiang, J., Xu, R., “Application of crop straw derived biochars to Cu(II) contaminated Ultisol: Evaluating role of alkali and organic functional groups in Cu(II) immobilization”, *Bioresource Technology*, v.133, pp. 537-545, fevereiro, 2013.
- GSST. Glossary of Soil Science Terms. Soil Science Society of America. Madison: SSSA, Inc. pp. 58, 2008.
- Vilela, F. J., Desenvolvimento de um Condicionador de Solos com valor agregado a partir da biomassa de *Magonia pubescens*. Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- Ramos, R. A. R., Pinto, R. S. B. F. F. “Urban Pollution and the Impacts in Urban Kitchen Gardens Sustainability”, Corfu: WSEAS Press, pp. 188-193, Outubro, 2008, [2nd International Conference on waste management, water pollution, air pollution, indoor climate, 2008].
- Smical, A. I., Hotea, V., Oros, V., Juhasz, J., Pop, E., “Studies on transfer and bioaccumulation of heavy metals from soil into lettuce”, *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 7, pp. 609-615, setembro, 2008.
- Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho. Diário da República nº 114/2015 - Série I. Ministério do Ambiente, Lisboa.
- Major, J., Guidelines on Practical Aspects of Biochar Application to Field Soil in Various Soil Management Systems. Internacional Biochar Initiative, vol. 1, pp. 8-10, janeiro 2010.
- Rowell, D.L. *Soil Science. Methods & Applications*. Harlow: Longman Group UK, pp. 6-15, 1994.
- Milosevic, T., Milosevic, N. “The effect of zeolite, organic and inorganic fertilizers on soil chemical properties, growth and biomass yield of apple trees”. *Plant soil environ*, vol. 55, pp. 528-535, dezembro, 2009.
- Van Reeuwijk. *Procedures for soil analysis*, 6th ed. Wageningen: ISRIC-FAO, p.3(1)-5(2) .2002.
- Almeida, L.A.V., Balbino, L.R “Determinação do fósforo e do potássio assimiláveis em alguns solos do País”. *Anais do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa*, vol. 23, pp. 19-42, setembro, 1960.
- Lakanen, E., Ervio, R. “A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils”. *Acta Agriculturae Fenniae* vol. 123, pp. 223-232, janeiro 1971.
- Walinga, I., Van Vark, W., Houba, V.J.G., van der Lee, J.J., *Plant Analysis Procedures* (Soil and Plant Analysis, Part 7). Wageningen: Syllabus, pp. 125-167, 1989.
- Harris, P. “On charcoal”. *Interdisciplinary Science Reviews*, vol. 24, pp. 301-306, 1999.
- Aller, M. F. “Biochar properties: Transport, fate, and impact”. *Critical reviews in environmental science and technology*, vol. 46, pp. 1183-1296, junho, 2016.
- Rhodes, C. J. Properties and applications of zeolites. *Science Progress*, vol. 93, pp. 1-63, agosto 2010.
- Weil, R.R., Brady, C. *The nature and properties of soils*. 15 ed. Columbus: Pearson. 7 pp. 356-362, 2017.
- Lopes, H. G. A. (2014). Avaliação do estado nutricional e do teor em metais pesados de plantas cultivadas nas hortas sociais do Instituto Politécnico de Bragança. Dissertação mestrado, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.
- Santos, J.Q. Fertilização - Fundamentos Agroambientais da utilização de adubos e corretivos, *Publindústria*, pp. 194-201, 2015.
- Pacheco, J. M. A. S. (2015). Concentração de metais pesados em espécies hortícolas em agricultura urbana. Dissertação de mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Costa, C. A., Casali, V. W.D., Ruiz, H. A., Jordão, C.P., Cecon, P.R. “Teor de metais pesados e produção de alface adubada com composto de lixo urbano”. *Horticultura Brasileira*, Brasília, vol. 19, pp. 10-16, março 2001.
- Regulamento (CE) nº 1881/2006. Regulamento (UE) nº1881/2006 da Comissão de 19 de dezembro de 2006, que fixa os teores máximos de certos contaminantes presentes nos gêneros alimentícios.
- LQARS (Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva). *Manual de Fertilização de Culturas*. Lisboa, INIAP, 2006.

IDENTIFICANDO CONFLICTOS ENTRE GRUPOS DE STAKEHOLDERS EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA TRANSFRONTERIZA MESETA IBÉRICA (ESPAÑA-PORTUGAL)

RESUMEN

Los conflictos entre stakeholders puede suponer un serio problema para desarrollar planes de gestión de manera eficiente y alcanzar los objetivos de conservación de un área protegida. La complejidad de este problema se incrementa en áreas transfronterizas, donde pueden aparecer conflictos asociados a los diferentes niveles de gobierno. En este estudio, analizamos las preferencias de cuatro grupos de stakeholders (gobiernos, científicos, granjeros y empresarios) respect a los objetivos de gestión de la Reserva de la Biosfera Transfronteriza Meseta Ibérica, recientemente creada en el NE de Portugal/ NE de España, que comprende dos parques naturales portugueses y dos parques naturales españoles. basada en cuatro dimensiones (Conservación, Uso, Desarrollo y Gobernanza), 20 criterios and 41 sub-criterios, y se aplicó el Análisis de Jerarquías Analíticas (AHP). Finalmente, se calculó un índice de conflicto intergrupos para las preferencias de todos los grupos de interés, y un índice de conflicto interpaís, para los gestores de los países implicados, con el objetivo de evaluar el grado de desacuerdo entre grupos y entre países. Los resultados mostraron que los mayores conflictos están relacionados con la conservación de fauna y flora. El análisis intergrupo mostró las principales divergencias se encuentran entre granjeros y científicos y entre granjeros y gobiernos. Además, se detectaron discrepancias entre las preferencias de los gestores españoles y portugueses en cuestiones relacionadas con el desarrollo local, la conservación de la vida salvaje y la cuestiones concretas vinculadas a la gobernanza.

Palabras clave: reservas transfronterizas; conflictos de uso de la tierra; AHP; Reserva de la Biosfera Meseta Ibérica; gobernanza.

Valoración Económica De Los Activos Ambientales Del Ecosistema De La Laguna De Pacucha, Distrito De Pacucha, Provincia De Andahuaylas De La Región Apurímac

Barrial⁽¹⁾, Delgado⁽¹⁾, Huaman⁽¹⁾, Tapia⁽¹⁾, Rodrigo⁽¹⁾

(¹) Universidad Nacional Jose María Arguedas, Apurímac, Peru

barriallujana@gmail.com, maricarmend@yahoo.es, huamancarrionmary@gmail.com

IV Congreso Ibero-Americano de Emprendedorismo, Energía, Ambiente e Tecnología



CIEEMAT '18

27 - 29 de noviembre, 2018 Angra dos Reis - RJ, Brasil

Resumen

En el presente trabajo de investigación se presentan los resultados del estudio que tiene como objetivo la valoración económica de los activos ambientales del ecosistema de la laguna de Pacucha, provincia de Andahuaylas de la región Apurímac. Como paso inicial para el diseño y aplicación de política pública tendiente a la conservación y mejora ambiental de los ecosistemas de la laguna pacucha. La metodología utilizada fue AMUVAM (Analytic Multicriteria Valuation Method), éste es un método de valoración de activos ambientales compuesto por dos métodos: AHP (Analytic Hierarchy Process) y Método de actualización de rentas. La encuesta se aplicó a un grupo colectivo de 46 personas entre profesionales expertos y agricultores cuyas labores están vinculados con el activo ambiental de estudio. El análisis cuantitativo de la información se hizo utilizando el paquete estadístico SPSS y hoja de cálculo Excel. Los resultados de la valoración económica asciende a \$26.070.028,12; que comprende de VUD= \$4.239.892,13; VUI=\$7.708.925,94; VO=\$4.751.400,33; VE=\$4.766.534,90 y VL=\$4.603.274,82. Asimismo, en el marco del valor de existencia, compuesta por Biodiversidad, Patrimonio Cultural y Paisaje Visual que equivale a \$2.450.420,84; \$1.290.155,08 y \$1.025.958,98 respectivamente.

Palabra clave: activos ambientales, valor económico, ecosistema, AHP, bienes y servicios

1. Introducción

El ecosistema otorga a la sociedad una gran cantidad de flujos de bienes y servicios los cuales contribuyen al bienestar social (Osorio y Correa, 2004). Además, estos flujos representan el soporte de la vida en la tierra, razón suficiente para que la sociedad desee preservar y conservar los activos ambientales. Sin embargo, al compartir éstos las características propias de los bienes públicos y de los recursos de libre acceso, como lo son la no-exclusión y la no-rivalidad en el consumo, carecen de un mercado donde intercambiarse y, en consecuencia, se desconoce su precio (Osorio y Correa, 2004). La ausencia de la valoración de estos recursos puede llevar a que las acciones y actividades económicas conduzcan a un uso inadecuado o a una sobre explotación de los mismos, provocando así un cambio negativo en la condición de los recursos afectados. En este sentido, este artículo tiene como objetivo central establecer un marco cuantitativo de la valoración económica de los activos ambientales del ecosistema de la laguna de pacucha. Es, por tanto, una valoración de tipo económico significa poder contar con un indicador de su importancia en el bienestar de la sociedad, que permita compararlo con otros componentes de este bienestar. El valor económico total de un activo ambiental está integrado por los valores de uso directo, de uso indirecto, de opción, de existencia y de futuro. (Aznar y Estruch, 2015)

Las sociedades de épocas pasadas no solían tener en cuenta la importancia de los ecosistemas. Los consideraban, con frecuencia, propiedad pública y, por tanto, los infravaloraban. Es por tanto, La valoración de un espacio natural es una labor de prioridad, aunque es compleja. A diferencia de tantas otras valoraciones, en ésta resulta necesario hacer una cuantificación monetaria de los bienes y servicios que la naturaleza nos proporciona. La necesidad de la cuantificación monetaria, responde al hecho de que en la sociedad de mercado en la que nos encontramos, la importancia de los bienes se manifiesta fundamentalmente a través de su valor monetario.

Según los científicos, si la población mundial aumenta hasta los 8 000 millones de habitantes de aquí a 2030, la escasez de alimentos, agua y energía puede ser muy grave. (Comisión Europea, 2009)

Si los ecosistemas naturales dejan de prestar sus servicios, las alternativas serán costosas. Invertir en nuestro capital natural supondrá un ahorro a largo plazo, además de ser importante para nuestro bienestar y supervivencia.

2. Métodos y ámbito de estudio

2.1 AMBITO DE ESTUDIO

La Laguna de Pacucha, es considerada como una de las más grandes y bellas lagunas del Perú. Se encuentra ubicada en el Distrito de Pacucha, a 15 Km de la capital de la provincia de Andahuaylas a una altitud de 3,125 m.s.n.m. ubicada entre las coordenadas: 13°36'27" latitud sur y 73°19'30" longitud oeste, tiene una extensión de 728 has. Sus dimensiones son, largo máximo 3,970 m en el eje este - oeste; ancho máximo 2,680 m; profundidad máxima 30 m, volumen 118'010,495 m3. Fuente: www.dircetur-apurimac.gob.pe



Fig. 1. Laguna de Pacucha

2.2. VALORACION ECONOMICA DEL ACTIVO AMBIENTAL

se utilizó el Método AMUVAN (Analytic Multicriteria Valuation Method) (Aznar y Estruch, 2015) en combinación del Método AHP (Saaty, 1980) que comprende en la selección de alternativas (estrategias, inversiones, etc) en función de una serie de criterios o variables y el Método de Actualización de Rentas establecida por Ramsey en 1928 actualizado por Aznar y Estruch, (2015). Ante un activo ambiental determinado se delimita con detalle los distintos componentes del VET que existen en ese activo y las distintas funciones que contiene cada componente.

3. RESULTADOS

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA AHP

Obtención de los valores que componen el valor social

El Valor Social de la laguna de Pacucha, lo consideramos como valor económico total, el cual se descompone en valor de uso directo, indirecto, opción o cuasiopción, en valores de existencia y futuro. y por otra parte, se descompone el valor de Existencia en valor de la biodiversidad, patrimonio cultural y paisaje visual. Para determinar la ponderación relativa en cada caso se han planteado en el cuestionario las comparaciones pareadas de forma que con ellas se construyen las matrices 5X5 y 3X3 respectivamente, obteniéndose después de verificar su consistencia los vectores propios que se detallan para cada caso en los puntos siguientes y que son agregados mediante la media geométrica. Tal, como indica Tablas 1 y 2

Determinación de valor económico total

Tabla 1: Vectores propios del VET

N	VUD	VUI	VO	VE	VL
1	0,4885	0,2873	0,1248	0,0665	0,0530
2	0,0472	0,1219	0,1902	0,5006	0,1401
3	0,4873	0,2542	0,1627	0,0834	0,0324
4	0,4265	0,3013	0,0843	0,1145	0,0734
5	0,6076	0,0597	0,1481	0,1466	0,0381
6	0,5489	0,0338	0,0983	0,2207	0,0983
7	0,6134	0,1991	0,0382	0,0945	0,0567
8	0,6243	0,1898	0,0965	0,0428	0,0465
9	0,5744	0,1520	0,0388	0,0766	0,1581
10	0,4357	0,0466	0,1511	0,1129	0,2536
11	0,1293	0,0708	0,4266	0,0634	0,3098
12	0,0373	0,0918	0,1464	0,2582	0,4663
13	0,0507	0,0629	0,1524	0,3265	0,4075
14	0,1532	0,0528	0,0889	0,2413	0,4638
15	0,5281	0,2053	0,1409	0,0491	0,0766
16	0,5260	0,2301	0,1082	0,0897	0,0460
17	0,5176	0,2423	0,0286	0,1535	0,0580
18	0,4622	0,2593	0,1375	0,0860	0,0730
19	0,0928	0,1554	0,3357	0,3619	0,0542
20	0,0569	0,0891	0,2316	0,1393	0,4831
21	0,4938	0,0828	0,0464	0,1492	0,2277
22	0,4543	0,1078	0,0483	0,3472	0,0426
23	0,1503	0,0422	0,0993	0,2529	0,4553
24	0,4438	0,2654	0,1523	0,0579	0,0806
25	0,0512	0,1361	0,2281	0,4981	0,0865
26	0,0478	0,1111	0,4775	0,2127	0,1510
27	0,0031	0,0847	0,4699	0,1831	0,1831
28	0,0361	0,1104	0,1238	0,2395	0,4903
29	0,0251	0,0757	0,3912	0,2299	0,2781
30	0,5469	0,0326	0,1559	0,0584	0,2063
31	0,5325	0,2324	0,0700	0,1161	0,0490
32	0,5257	0,2385	0,0302	0,1461	0,0594
33	0,2864	0,5134	0,1109	0,0445	0,0448
34	0,3603	0,3344	0,0689	0,0836	0,1528
35	0,0502	0,0723	0,1996	0,1670	0,5109
36	0,5117	0,2891	0,0999	0,0562	0,0431
37	0,3233	0,3821	0,0991	0,0393	0,1562
38	0,0502	0,1756	0,1052	0,3859	0,2831
39	0,0507	0,0843	0,1755	0,1567	0,5329
40	0,6277	0,1656	0,0420	0,0824	0,0824
41	0,5173	0,1027	0,0610	0,1659	0,1532
Media Geométrica	0,2140	0,1319	0,1177	0,1323	0,1278

Determinación componentes valores de existencia

Tabla 3: Vectores propios del VE

N	BIOD.	P. CULT.	P. VISUAL
1	0,6370	0,2583	0,1047
2	0,6716	0,2654	0,0629
3	0,2426	0,0879	0,6694
4	0,1047	0,2583	0,6370
5	0,1047	0,2583	0,6370
6	0,6370	0,2583	0,1047
7	0,1140	0,4606	0,4054
8	0,6370	0,2583	0,1047
9	0,6588	0,1562	0,1852
10	0,6694	0,2426	0,0879
11	0,1562	0,6588	0,1852
12	0,7471	0,1194	0,1336
13	0,6588	0,1562	0,1852
14	0,1852	0,1562	0,6588
15	0,7471	0,1194	0,1336
16	0,7471	0,1194	0,1336
17	0,6588	0,1562	0,1852
18	0,6370	0,2583	0,1047
19	0,7471	0,1194	0,1336
20	0,6370	0,2583	0,1047
21	0,1140	0,4054	0,4806
22	0,6694	0,2426	0,0879
23	0,4806	0,4054	0,1140
24	0,1140	0,4054	0,4806
25	0,2583	0,1047	0,6370
26	0,6370	0,2583	0,1047
27	0,6941	0,1315	0,1744
28	0,7514	0,1782	0,0704
29	0,0778	0,4869	0,4353
30	0,6694	0,2426	0,0879
31	0,6370	0,1047	0,2583
32	0,6694	0,2426	0,0879
33	0,6370	0,1047	0,2583
34	0,7514	0,0704	0,1782
35	0,0879	0,6694	0,2426
36	0,6370	0,2583	0,1047
37	0,7695	0,1265	0,1040
38	0,4353	0,4869	0,0778
39	0,4869	0,4353	0,0778
medio geométrica	0,4151	0,2188	0,1738

El número de cuestionarios realizados ha sido de 46, de los cuales se han utilizado para el trabajo 41 en la tabla 1 ya que el resto presentaba CR mayores al 10% y han sido descartadas. Por otra parte, en la tabla 2 se han utilizado para el trabajo 39 ya que el resto presentaba CR mayores al 5% y han sido descartadas. Se han agregado los vectores de los expertos resultando la ponderación final de la Tabla 1. y la Tabla 2

Tabla 3 Ponderación final de los componentes del VET

media	Vector	ponderación
VET geométrica	agregado	final
VUD	0,2140	0,2957
VUI	0,1319	18,23%
VO	0,1177	16,26%
VE	0,1323	18,28%
VL	0,1278	17,66%

VALORACION DEL USO DIRECTO MEDIANTE EL MÉTODO DE ACTUALIZACIÓN DE RENTAS.

La laguna de pacucha es una fuente de suministro para la actividad agrícola, pecuaria y de otros de uso directo, a las comunidades de Santa Elena, Santa Rosa, Manchuybamba, Añacopacha y Ayapata - José Olaya del distrito de Pacucha.

CALCULO DEL VALOR DE USO DIRECTO

Para calcular este valor de Uso Directo, se procedió a averiguar el valor de la ganancia anual de cada uno de los valores que lo componen y que agregados serán la ganancia y/o la utilidad anual, que comprende el periodo 01/01/2018 al 30/12/2018

La ganancia del valor de Uso Directo, está compuesta por los valores que se obtienen del aprovechamiento de la actividad agrícola, pecuaria, pesca y recreación turística de la laguna de pacucha. Tabla 4

Actividad	Utilidad (\$/año)
Pecuaria (ganado vacuno, porcino, ovino y animales menores)	\$106.691,00
Agrícola (maíz, papa, alfalfa y hortalizas)	\$149.167,24
Pesca artesanal	\$11.208,00
Act. recreativa (botes)	\$23.560,27

Una vez calculadas las ganancias de los aprovechamientos en la agricultura, actividad pecuaria, pesca y actividades turísticas, se obtiene un total de \$ 290.626,51 por año. Esta cantidad es la ganancia total que ofrece por las actividades que comprende el uso Directo. Aplicando la fórmula deducida y actualizando a la Tasa social de Preferencia Temporal de Perú, con el cálculo de la tasa social de descuento para proyectos de inversión pública ambientales que implica una tasa de 3,77% obtenemos el valor del Uso directo de la Laguna de Pacucha: $V^* = (\$290.626,51 / 0,6377) = \$7.708.925,94$

CALCULO DEL VET Y EL RESTO DE COMPONENTES

Conociendo el VET y las ponderaciones finales de todos los expertos podemos determinar el Valor Económico Total y el de todos los componentes. Tabla 5.

Tabla 12: Valor Económico Total y de sus componentes de la laguna de pacucha

VET	ponderación	valor \$
VUD	0,2957	\$7.708.925,94
VUI	0,1823	\$4.751.400,33
VO	0,1626	\$4.239.892,13
VE	0,1828	\$4.766.534,90
VL	0,1766	\$4.603.274,82
Total		\$26.070.028,12

Valor Económico Total de la laguna de Pacucha es \$26.070.028,12

5. Conclusiones

El valor económico total de la laguna de pacucha de la provincia de Andahuaylas, Peru; asciende a 26.070.028,12 dólares americanos que equivale a S/. 86.031.092,80 valor monetario peruano, este caso, el uso directo por explotación agraria supone la utilidad más valorada, seguido del

Interpretações climáticas aplicadas à arquitetura bioclimática e eficiência energética nas edificações de Caxias do Sul – RS

Isabel Consoli, Juceane Biava, Fabio Cantu

Isabel Oberderfer Consoli
Mestranda - Escola Superior de
Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
isabel.oc.consoli@alunos.ipb.pt

Juceane de Fátima Biava
Profa. Msc. Núcleo de Arquitetura e
Engenharias
Faculdade Mater Dei
Pato Branco – PR, Brasil
juceane@materdei.edu.br

Fabio Augusto Cantu
Prof. Esp. Núcleo de Arquitetura e
Engenharias
Faculdade Mater Dei
Pato Branco – PR, Brasil
fcantu@materdei.edu.br

Resumo—O setor da construção civil é responsável por um consumo significativo de energia no mundo. É importante que os projetos arquitetônicos, desde a sua concepção, levem em consideração os fatores ambientais de forma correta, visando a aumentar a integração entre ambiente natural e construído. Os dados climáticos são alguns dos elementos ambientais mais importantes que irão nortear as decisões arquitetônicas. Para projetos que incorporem os conceitos de arquitetura bioclimática, saber interpretar e aplicar os dados climáticos de forma correta é imprescindível para que o edifício, depois de pronto, alcance níveis elevados de eficiência energética e, como consequência, também garanta o conforto ambiental em seus ambientes internos. Neste trabalho será realizada uma análise dos dados climáticos da cidade de Caxias do Sul – RS, Brasil, focando na sua aplicação nas decisões e diretrizes de projetos arquitetônicos.

Palavras-chave—clima, decisões de projeto, arquitetura bioclimática, eficiência energética.

Abstract—The construction sector is responsible for a significant amount of energy consumption around the world. It is important that architectural projects, since the first steps of its design, take environmental factors into account rightly, in order to increase the integration between natural and built environment. Climate data is one of the most important environmental elements that will guide architectural decisions. For projects that incorporate the concepts of bioclimatic architecture, knowing how to interpret and apply climate data correctly is imperative for the building to reach high levels of energy efficiency, and therefore also guarantees environmental comfort in its internal spaces. In this paper an analysis of the climatic data of Caxias do Sul – RS, Brazil, will be developed, focusing on its application in the decisions and strategies applied in architectural designs.

Keywords—climate, project decisions, bioclimatic architecture, energy efficiency.

INTRODUÇÃO

A arquitetura bioclimática consiste no planejamento das edificações visando a adequar o ambiente construído às condicionantes climáticas e geográficas do local onde se insere. Isso faz dos elementos arquitetônicos instrumentos para alcançar o conforto térmico no interior das edificações, tornando-os mais agradáveis, além de, também, incentivar a interação entre ambientes edificados e natureza. Quando o

conforto térmico é atingido com o uso de elementos arquitetônicos, é dispensável a utilização de soluções mecânicas para esta finalidade (aquecedores e ar condicionado). Dessa forma, pode-se afirmar que a arquitetura bioclimática também é um instrumento que garante maior eficiência energética nos edifícios [1].

O conforto ambiental nos ambientes pode ser definido como a condição adequada proporcionada pelo edifício e seus subsistemas, onde há a mínima necessidade de esforço extra para manter o equilíbrio térmico do corpo humano. Vários fatores ambientais como temperatura do ar, temperatura da superfície envolvente, umidade do ar e velocidade do ar afetam o conforto humano. Esses fatores podem interferir positiva ou negativamente na qualidade do ambiente. Fatores naturais como as características climáticas e geográficas em que está inserido e fatores antrópicos como a arquitetura do ambiente, elementos e materiais utilizados nas edificações também contribuem diretamente para um ambiente confortável ou não [2].

As características do clima local é que serão norteadoras para definir como o edifício irá se comportar quanto às questões de conforto e eficiência energética. Para isso, é necessário que a interpretação do clima e as respectivas variáveis arquitetônicas estejam condizentes com as necessidades locais. Os dados climáticos, quando analisados com a finalidade de aplicação na arquitetura e planejamento de edifícios, devem ser tratados de forma coerente, transformando um grande volume de dados em ferramentas facilmente aplicáveis.

Este trabalho tem a finalidade de apresentar os dados climáticos da cidade de Caxias do Sul – RS para aplicação em projetos arquitetônicos. Serão apresentadas metodologias para relacionar esses dados a estratégias arquitetônicas adequadas, visando a aumentar o conforto humano nos edifícios projetados especificamente para essa cidade, bem como aumentar a eficiência energética nesses ambientes.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a caracterização climática da cidade de Caxias do Sul foram utilizados dados fornecidos pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) [3]. Os dados fornecidos contemplam o intervalo entre os anos de 2012 e 2017 e são referentes a:

- Médias diárias das temperaturas máximas, médias e mínimas [°C];
- Média diária da umidade relativa do ar [%];

- Número de horas mensais de insolação [horas];
- Médias diárias para velocidade [m/s] e direção predominante dos ventos [azimute].

A correta interpretação dos dados climáticos é imprescindível para que os arquitetos possam incorporar, em seus projetos, as premissas da arquitetura bioclimática. É necessário que as soluções arquitetônicas passivas estejam em conformidade com as condicionantes do local onde a edificação irá se inserir para garantir resultados satisfatórios nos quesitos de conforto ambiental humano e eficiência energética.

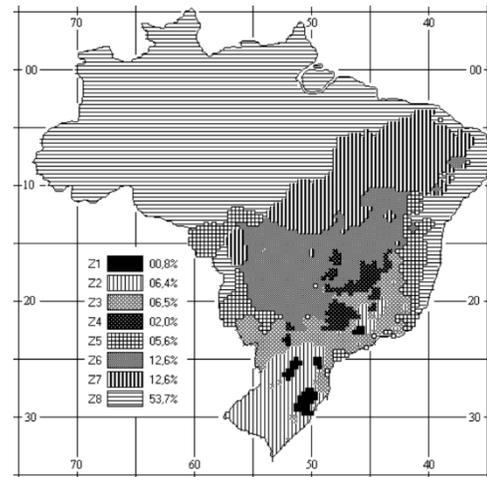
O perfil climático da cidade de Caxias do Sul será traçado com base na média aritmética dos dados para cada mês do ano. A interpretação dos dados se dará através da metodologia de análise do Ano Climático de Referência, ou TRY - Test Reference Year. Esse termo é definido pela ASHRAE (American Society Of Heating, Refrigerating And A-C Engineers) como um conjunto de informações acerca do clima de determinado local através da adoção de um ano típico. Esses dados são relevantes para a definição de parâmetros arquitetônicos bioclimáticos, bem como para cálculos de consumo energético nos edifícios. A metodologia utilizada para definir qual será o ano de referência (TRY) dentro de um intervalo de tempo consiste na eliminação dos dados dos anos onde tenham ocorrido temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas) até que reste um ano apenas [4] [5].

Os dados referentes ao ano climático de referência (TRY) serão analisados de duas formas a fim de obter-se uma comparação entre as estratégias mais adequadas para a cidade de Caxias do Sul.

A primeira delas será através do software AnalysisBIO, desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) [6]. Esse software permite que as informações a respeito da temperatura e umidade do ar sejam inseridos em uma carta psicométrica, descrevendo seu comportamento ao longo do ano. Apresenta também as estratégias arquitetônicas correspondentes a cada mês (devido às condicionantes impostas pelo clima), que devem ser previstas nos projetos de edifícios para garantir o conforto ambiental.

Outra forma de análise apresentada será a partir de uma ferramenta existente no Brasil que auxilia as decisões projetuais baseadas nos conceitos bioclimáticos, a NBR 15220-3 (2003), norma técnica que rege o desempenho térmico das edificações. Essa norma segmenta o território brasileiro em oito grandes zonas, onde as características climáticas são semelhantes, conforme apresenta a Fig. 1.

Fig 1. Zoneamento bioclimático do território brasileiro – NBR 15220-3 (2003).



A partir da classificação da cidade em uma dessas zonas, os dados climáticos do TRY também devem ser plotados sobre uma carta psicométrica. Neste método de avaliação, a carta é dividida em doze subzonas nomeadas de A a L. Seguindo as prescrições normativas, cada uma delas possui estratégias arquitetônicas específicas descritas, que são fundamentais para garantir a eficiência e conforto nos edifícios [7] [1].

Com a inserção dos dados de temperatura e umidade do ar na carta apresentada pela NBR15220, algumas das subzonas serão preenchidas, ficando sob responsabilidade do arquiteto a utilização das estratégias bioclimáticas correspondentes ao que é recomendado para cada zona [7].

^bRESULTADOS E DISCUSSÕES

As informações aqui apresentadas condensam e simplificam uma série histórica de dados. As análises que serão discutidas poderão ser facilmente interpretadas e aplicadas em diversas áreas do conhecimento, por diversos profissionais. Será dado foco às interpretações climáticas aplicadas à arquitetura bioclimática e eficiência energética nas edificações.

a. Caracterização climática de Caxias do Sul - RS

Caxias do Sul está localizada em uma região que apresenta clima tropical. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, enquadra-se no clima Cfb, que tem como principais características:

- C: Clima temperado ou temperado quente – locais que têm como principal característica as estações do ano bem definidas, com invernos frios (temperaturas entre -3°C e 18°C) e verões com temperatura média acima de 10°C.
- f: regiões com clima úmido e chuvas bem distribuídas ao longo do ano.
- b: verão temperado, com temperaturas médias entre 10°C e 22°C durante os meses mais quentes.

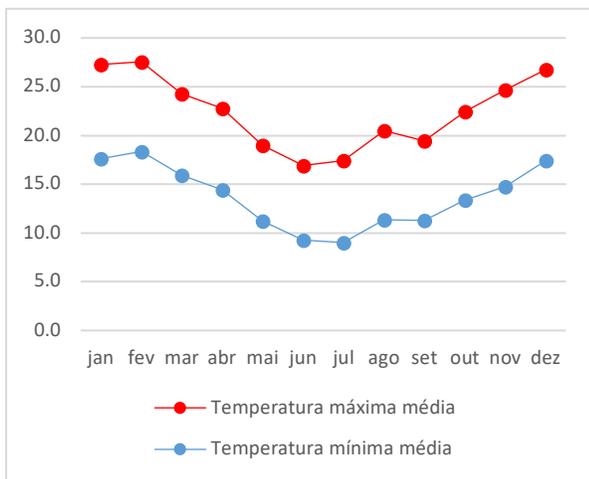
O clima Cfb, portanto, configura, de forma genérica, um local com clima temperado úmido com verão temperado [8].

Em relação à temperatura do ar, a cidade apresenta uma variação considerável entre os valores obtidos nos meses de inverno (junho a setembro) e verão (dezembro a março). A grande amplitude térmica, conforme demonstrado na Fig 2. se torna uma condicionante de extrema relevância pois o

conforto ambiental nos espaços internos está diretamente relacionado com a temperatura adequada.

Um ambiente interno é considerado confortável se a temperatura do ar estiver agradável para pelo menos 80% de seus ocupantes [2]. Essa afirmação, avaliada juntamente com a grande variabilidade térmica (média) apresentada nos dados da Fig 2., faz com que o uso de estratégias para adequação térmica seja imprescindível. Essas estratégias podem compreender soluções mecânicas, como o uso de ar condicionado e sistemas de calefação, soluções passivas, como elementos arquitetônicos projetados especificamente para alcançar o conforto térmico, ou, ainda, soluções combinadas que utilizem elementos arquitetônicos passivos para minimizar o uso das soluções mecânicas.

Fig 2. Temperaturas máximas e mínimas médias entre os anos de 2012 e 2017 para a cidade de Caxias do Sul – RS (dados fornecidos pelo INMET).



Tão importante quanto o perfil de temperaturas é o conhecimento do comportamento do vento e suas variações durante o ano. A ventilação é uma condicionante natural que pode ser amplamente explorada nas estratégias projetuais, garantindo as trocas de ar nos ambientes internos, necessárias para garantir a salubridade dos espaços. Também é um importante elemento que proporciona o resfriamento.

A direção proveniente dos ventos poderá condicionar o posicionamento das aberturas de acordo com as estratégias do projetista, também servindo de base para o posicionamento de barreiras, quando for necessário. Para que essas informações relevantes sejam apresentadas de forma objetiva, a Tabela I apresenta os dados de velocidade média mensal dos ventos em Caxias do Sul, relacionando-os com o ponto cardinal de onde o vento sopra com mais intensidade.

TABELA I. VELOCIDADE E DIREÇÃO PREDOMINANTE DOS VENTOS EM CAXIAS DO SUL – RS ENTRE OS ANOS DE 2012 E 2017 (DADOS FORNECIDOS PELO INMET).

Mês	Direção do vento	Velocidade [m/s]
Janeiro	Sul-Sudeste (SSE)	1,91
Fevereiro	Sul-Sudoeste (SSW)	1,86
Março	Sul (S)	1,82
Abril	Oeste-Noroeste (NWW)	1,62
Mai	Noroeste (NW)	1,63
Junho	Oeste (W)	1,72
Julho	Norte-Noroeste (NNW)	1,89
Agosto	Noroeste (NW)	2,10
Setembro	Sudoeste (SW)	2,00
Outubro	Sul-Sudoeste (SSW)	2,02
Novembro	Sul (S)	1,98
Dezembro	Sudoeste (SW)	1,95

As variações dessa condicionante, ao longo do ano, também são de grande relevância pois podem ser utilizadas estratégias diferenciadas nos meses de inverno e verão. Também é interessante que o perfil de velocidade e direção dos ventos seja analisado em conjunto com o comportamento da temperatura do ar, para garantir conclusões mais completas e eficazes.

Outras condicionantes consideradas relevantes para a aplicação em projetos arquitetônicos são a insolação e umidade relativa do ar. A insolação apresenta o número de horas médias de sol em determinado mês do ano. Esse elemento pode ser diretamente relacionado com as aplicações de iluminação natural que tornam os ambientes mais propícios para a realização de atividades e auxiliam no aumento da produtividade em ambientes de trabalho, por exemplo, além de também contribuir para o bem-estar geral dos ocupantes.

Já a umidade relativa do ar é um elemento que, combinado com a temperatura, irá influenciar no conforto térmico e na salubridade do local. Ambientes com umidade relativa muito elevada podem ser propícios para a proliferação de bactérias e mofo. Já umidades muito baixas podem desencadear problemas respiratórios e desencadear alergias nos ocupantes. Portanto, em ambos os casos, a umidade deve ser corrigida para que se adeque às necessidades humanas. Essa correção geralmente pode ser feita estimulando a ventilação natural ou utilizando recursos arquitetônicos adequados para aumentar a umidade em determinado local.

Os dados referentes à insolação e à umidade relativa do ar encontram-se na Tabela II.

TABELA II. CARACTERÍSTICAS DE INSOLAÇÃO E UMIDADE RELATIVA DO AR EM CAXIAS DO SUL – RS ENTRE OS ANOS DE 2012 E 2017 (DADOS FORNECIDOS PELO INMET).

Mês	Insolação [horas]	Umidade Relativa do ar [%]
Janeiro	229,54	74,93%
Fevereiro	180,42	78,03%
Março	190,58	79,88%
Abril	185,94	80,09%
Mai	167,60	81,26%
Junho	153,04	80,32%
Julho	176,58	78,55%
Agosto	189,06	72,52%
Setembro	164,60	76,69%
Outubro	168,40	77,99%
Novembro	214,52	72,73%
Dezembro	184,66	76,82%
Média	183,745	77,48%

Para todos os dados apresentados, existe a necessidade de avaliar as variações anuais que cada condicionante apresenta. O interessante é que os piores casos de verão ou de inverno sejam levados em consideração quando as decisões arquitetônicas estiverem sendo tomadas. Se a edificação atender de forma satisfatória a esses casos, será também eficiente em todos os demais momentos do ano.

b. Ano Climático de Referência (TRY)

Com a aplicação da metodologia do Ano Climático de Referência (TRY), foi definido o ano de 2013 como o ano que apresentou temperaturas menos extremas. Os valores para este ano encontram-se na Tabela III.

TABELA III. DADOS REFERENTES AO ANO DE 2013 – TRY.

8	Temp. máxima [°C]	Temp. média [°C]	Temp. mínima [°C]	Umidade Relativa do ar [%]
Janeiro	25,7	20,7	15,7	74,93%
Fevereiro	25,7	21,5	17,2	78,03%
Março	22,3	18,5	14,7	79,88%
Abril	22,7	18,1	13,5	80,09%
Mai	19,5	15,5	11,4	81,26%
Junho	17	13,5	10,0	80,32%
Julho	17,5	12,8	8,2	78,55%
Agosto	17	12,5	8,1	72,52%
Setembro	20,3	15,6	10,9	76,69%
Outubro	21,7	16,8	12,0	78,00%
Novembro	25,3	19,9	14,5	72,73%
Dezembro	27,8	22,5	17,2	76,82%

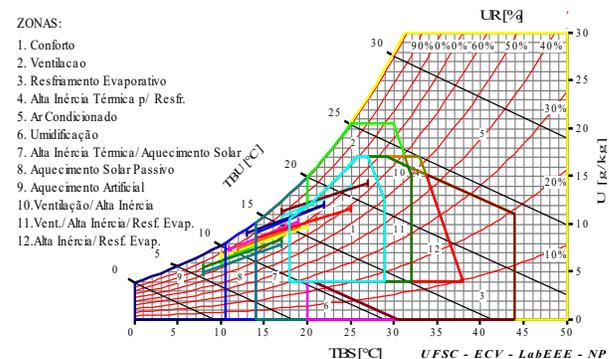
Os dados de temperaturas máximas, médias e mínimas, bem como a umidade relativa do ar do TRY são os elementos mínimos necessários para que as análises, a seguir, sejam realizadas de maneira correta e representem valores próximos da realidade para a cidade.

c. Recomendações de estratégias bioclimáticas para aplicação em projetos arquitetônicos – Analysis BIO

Os dados do TRY foram inseridos no software Analysis BIO para determinar quais estratégias bioclimáticas seriam mais indicadas para a cidade de Caxias do Sul. A Fig 3. apresenta o gráfico resultante da inserção dos dados. Na figura, cada zona da carta psicrométrica representa uma condição ou estratégia de projeto e cada uma das linhas representa um mês do ano. Nesse gráfico, são apresentadas as variações de temperatura no eixo horizontal e os teores de umidade relativa do ar nas curvas hipsométricas.

Assim como o gráfico, o software também gerou um relatório apresentando quais estratégias são recomendadas para cada mês, bem como a correspondente porcentagem de tempo em que essa estratégia é necessária.

Fig 3. Carta bioclimática com os dados do TRY para a cidade de Caxias do Sul – RS obtida com o software Analysis BIO.



Observando o comportamento da distribuição dos dados na carta bioclimática do software, é visto que os parâmetros da cidade se concentram na região onde a umidade do ar é elevada ao longo de todo o ano, sendo bem distribuída no eixo de valores de temperatura.

Como forma de melhor descrever os resultados apresentados pelo Analysis BIO, os valores em percentual também foram convertidos em dias. A Tabela IV mostra esse relatório, apresentando a quantidade de dias em cada mês que cada estratégia bioclimática é recomendada.

TABELA IV. RECOMENDAÇÕES DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS DE ACORDO COM O SOFTWARE ANALYSIS BIO.

Mês	Estratégia recomendada	Percentual	Núm. dias
Janeiro	Conforto	70,0%	21,7
	Aquecimento solar passivo Alta inércia térmica	30,0%	9,3
Fevereiro	Conforto	60,1%	16,8
	Ventilação	2,4%	0,7
	Aquecimento solar passivo Alta inércia térmica	37,5%	10,5
Março	Conforto	50,0%	15,5
	Aquecimento solar passivo Alta inércia térmica	50,0%	15,5
Abril	Conforto	36,1%	10,8
	Aquecimento solar passivo Alta inércia térmica	49,8%	14,7
	Aquecimento solar passivo	11,1%	4,5
Maio	Conforto	12,5%	3,7
	Aquecimento solar passivo Alta inércia térmica	50,0%	15,5
	Aquecimento solar passivo	37,5%	11,8
Junho	Aquecimento solar passivo Alta inércia térmica	42,9%	12,6
	Aquecimento solar passivo	50,0%	15
	Aquecimento artificial	7,1%	2,4
Julho	Aquecimento solar passivo Alta inércia térmica	38,4%	11,8
	Aquecimento solar passivo	40,6%	12,4
	Aquecimento artificial	20,9%	6,8
Agosto	Aquecimento solar passivo Alta inércia térmica	33,3%	10,2
	Aquecimento solar passivo	38,9%	12,1
	Aquecimento artificial	27,8%	8,7
Setembro	Conforto	20,0%	6
	Aquecimento solar passivo Alta inércia térmica	40,0%	12
	Aquecimento solar passivo	35,0%	10,5
	Aquecimento artificial	5,0%	1,5
Outubro	Conforto	33,4%	10,2
	Aquecimento solar passivo Alta inércia térmica	44,4%	13,6
	Aquecimento solar passivo	22,2%	7,2
Novembro	Conforto	63,6%	18,9
	Aquecimento solar passivo Alta inércia térmica	36,4%	11,1
Dezembro	Conforto	63,5%	19,7
	Ventilação	6,5%	2
	Aquecimento solar passivo Alta inércia térmica	30,0%	9,3

Os meses onde há a indicação da situação de conforto determinam que os valores de temperatura e umidade do ar serão adequados para o bem-estar humano, independente das estratégias arquitetônicas utilizadas. Configura-se na situação ideal. Todas as estratégias bioclimáticas apresentadas nas demais situações têm o intuito de corrigir as condicionantes para a situação de conforto. Com a análise da Tabela IV, nota-

-se que a grande maioria das estratégias para Caxias do Sul corrigem as situações para o conforto através de soluções que incentivem os ganhos térmicos.

O objetivo das estratégias de aquecimento solar passivo e alta inércia térmica é fazer com que o edifício favoreça a acumulação da radiação solar e, posteriormente, distribua essa energia em forma de calor ao longo do dia. O termo 'passivo' se refere ao uso de elementos presentes na própria arquitetura do edifício, não sendo necessário o uso de fontes externas para ganhos térmicos. Nesta situação, existem diferentes soluções que podem ser aplicadas pois a energia solar pode ser captada por qualquer parte do edifício (envelope, solo, paredes, telhado e aberturas). Os materiais utilizados no envelope, paredes e telhado devem possuir características de armazenamento térmico, fazendo com que a energia acumulada durante o dia seja liberada gradativamente durante a noite. As aberturas podem permitir a entrada de radiação no edifício nos momentos mais necessários e impedir que essa radiação escape através do uso de vidros apropriados, por exemplo [9].

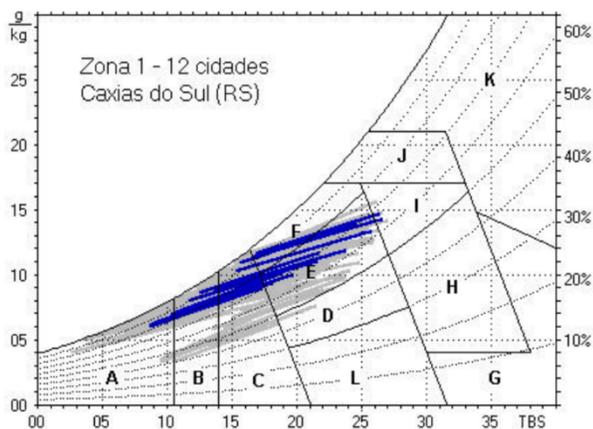
Estratégias de aquecimento solar passivo podem não ser suficientes para fornecer conforto térmico em dias em que as temperaturas atinjam valores extremos. Nessa situação, torna-se necessária a utilização de dispositivos mecânicos que necessitam consumir energia para elevar a temperatura até um nível adequado de conforto. Para essas situações, é indicado que estratégias passivas e mecânicas sejam combinadas, visando à redução no consumo energético [9]. Na cidade de Caxias do Sul, em média 19,4 dias no ano necessitarão do uso de aquecimento artificial.

As estratégias de ventilação natural são necessárias em dias onde a temperatura e a umidade do ar estejam ambas altas. Nessa situação, é alcançada uma melhor sensação térmica quando há o incentivo à renovação do ar. Isso pode ser obtido naturalmente através do posicionamento das aberturas, incentivando a ventilação cruzada (observando a direção predominante dos ventos), a ventilação por efeito chaminé, pátios internos, entre muitas outras soluções. A ventilação também pode ser proporcionada com o uso de soluções mecânicas como exaustores e ventiladores porém o recomendado é que se priorizem as estratégias passivas [9].

d. Recomendações de estratégias bioclimáticas para aplicação em projetos arquitetônicos – NBR 15220-3 (2003)

De acordo com a NBR 15220-3 (2003) a cidade de Caxias do Sul está situada na Zona Bioclimática 1 cujas características principais são as temperaturas baixas durante o inverno, temperaturas amenas durante o verão e umidade relativa do ar elevada durante todo o ano. A Fig 4. contém os dados de temperatura e umidade do ar na carta psicométrica da NBR 15220-3 (2003) que apresenta zonas correspondentes a estratégias bioclimáticas diferentes da apresentada pelo software Analysis BIO.

Fig 4. Carta psicométrica aplicada aos dados da cidade de Caxias do Sul – RS [7].



As zonas abrangidas pelos dados são A, B, C, E e F. A zona A corresponde a estratégias de aquecimento artificial (calefação), a zona B corresponde à zona de aquecimento solar da edificação, a zona C é a zona de massa térmica para aquecimento, a zona E representa o conforto e a zona F a zona de desumidificação (renovação do ar para correção da umidade) [7].

A NBR 15220-3 (2003) diz, ainda, que para as edificações inseridas na Zona Bioclimática I é obrigatório o uso das estratégias recomendadas para a zona A e são proibidas as estratégias recomendadas nas zonas I e J pois essas estratégias irão intensificar as condições climáticas que necessitam ser corrigidas, sendo elas as estratégias de massa térmica para refrigeração e ventilação. As demais estratégias são opcionais, ficando a critério do projetista a sua implementação.

As diretrizes que devem ser atendidas no projeto são [7]:

- As vedações externas de paredes devem ser leves;
- As vedações da cobertura devem ser leves e com isolamento térmico;
- Deve ser estimulado o aquecimento solar da edificação (incidência de radiação) através da sua forma, orientação dos ambientes internos e das superfícies envidraçadas;
- As vedações internas devem ser pesadas, contribuindo para que o calor se mantenha no interior da edificação;
- Devem ser adotadas aberturas médias para ventilação natural pois é necessária a retirada da umidade excessiva do ar através do estímulo à ventilação;
- Deve haver o sombreamento das aberturas de modo que permita a entrada do sol durante os períodos frios (zonas A e B).

ⁱCONSIDERAÇÕES FINAIS

A apresentação de um grande volume de dados climáticos de forma resumida e simplificada é relevante para que a dinâmica climática da cidade seja mais facilmente interpretada por arquitetos e projetistas. A incorporação desses dados como condicionantes no momento de tomada de decisões projetuais é crucial para o bom desempenho do edifício, após a sua construção.

A seleção de dados utilizando o método do TRY para posterior aplicação no software e na norma é uma das formas de generalizar o clima de determinado local, visando à aplicação em decisões arquitetônicas. Análises tendo focos diferenciados podem ser realizadas com outras metodologias existentes.

Em relação às recomendações obtidas através do software Analysis BIO, bem como a NBR 15220-3 (2003), apresentam semelhanças significativas. Apesar de as cartas bioclimáticas apresentarem zonas diferenciadas para cada análise, as recomendações projetuais seguem as mesmas diretrizes.

Para a obtenção do conforto ambiental humano nos ambientes, bem como a redução do consumo energético nos edifícios, todas as recomendações devem ser seguidas. Além dessas recomendações também devem ser feitas as demais análises de implantação do edifício no terreno, características geográficas locais, estudos aprofundados de materiais a serem aplicados, entre outros.

REFERENCES

- I. O. Consoli, Edifício de escritórios bioclimático na cidade de Caxias do Sul – RS. 2017. 74 f. Trabalho Final de Graduação (graduação) – Faculdade Mater Dei, Pato Branco-PR, 2017.
- A. B. Frota e S. R. Schiffer, Manual de conforto térmico. São Paulo-SP: Studio Nobel, 2007.
- INMET. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: 05 jun. 2019.
- ASHRAE. Building Energy Quotient. ASHRAE, 2019. Disponível em: <<https://www.ashrae.org/technical-resources/building-eq>>. Acesso em: 10 jun. 2019.
- I. O. Consoli e N. L. Tapalipa, “Caracterização climática da cidade de Pato Branco – PR como subsídio para as decisões de planejamento urbano”, XXIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica. Apucarana-PR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2018. p1-6.
- LabEEE. Analysis BIO. Versão 2.2, 03 maio 2010. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.
- ABNT. NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, 2003.
- C. A. Wollmann e E. Galvani, Caracterização climática regional do Rio Grande do Sul: dos estudos estáticos ao entendimento da gênese. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, v. 11, n. 8, p. 87 - 103, ju/dez 2012. ISSN: 2237-8642.
- F. Manzano-Agugliaro, F. G. Montoya and A. Sabio-Ortega, A. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort, Almeria, Spain, p. 736-755, May 2015. ISSN 1364-0321.

Sistemas de energía eléctrica a partir de paneles solares en comunidades del Estado de México

Alcia Cid Reborido, Pedro Tecanhuey, Jaime Samaniego

1st Alcía Cid Reborido
Universidad Autónoma Metropolitana.
 México, Ciudad de México.
 arc@azc.uam.mx

2nd Pedro Jesús Díaz Tecanhuey
Universidad Autónoma Metropolitana.
 México, Ciudad de México.
 pjdt21@gmail.com

3rd Jaime Granados Samaniego
Universidad Autónoma Metropolitana.
 México, Ciudad de México.
 jalgras@yahoo.c

Resumen—Se realizó un análisis detallado del consumo eléctrico de una casa habitación en el estado de México donde se presenta la comparación entre el consumo diagnosticado y el consumo dado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) encargada de la regulación de electricidad, de la misma forma se realiza el análisis del consumo eléctrico por medio de captadores solares, realizando graficas comparativas del precio y de lo diagnosticado, buscando un beneficio respecto al consumo eléctrico por medio de energías renovables.

Palabras Clave—Energía Renovables, Consumo Eléctrico, Diagnóstico eléctrico.

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es una de las principales fuentes de consumo para los seres humanos, además de ser un servicio es una necesidad básica para poder realizar una gran cantidad de las actividades cotidianas. En México desde el año de 1960, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha sido la empresa encargada de la generación, transmisión, distribución y comercialización del consumo eléctrico. Se poseen instalaciones generadoras de electricidad como las hidroeléctricas, las carboeléctricas, un centro nucleoelectrico por la parte de recursos renovables se cuenta con geotermoelectricas, eolelectricas, la energía solar en México entra con una cantidad mínima en el abasto del consumo.

Nos enfocamos en realizar un diagnóstico eléctrico de casa habitación para el Estado de México donde se consideraron características importantes como es el desarrollo urbano existente, así como el sitio a elegir esto debido a las diferentes cantidades de radiancia solar. Recabando datos de consumo eléctrico de cada uno de los aparatos eléctricos del hogar promedio, así como la instalación eléctrica de lámparas.

Dando como resultado dicho diagnóstico y por ello dio como resultado una forma de ahorro energético donde se dan a conocer la Norma Oficial Mexicana NOM-032-

ENER-2013. Límites máximos de potencia eléctrica para equipos y aparatos que demandan energía en espera. Propuesta por el Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE) y Directo General de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. Buscando a su vez la comparación de la medición de consumo eléctrico dado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y los resultados arrojados por el diagnostico, en donde se dará a conocer un costo-beneficio buscando el bienestar económico del hogar.

Por otro lado, nos enfocamos en dar a conocer los beneficios que se tiene de la energía fotovoltaica. Dando a conocer un sistema de captadores solares, mitigando el consumo eléctrico, del hogar y dando resultado de mejoramiento.

ANTECEDENTES

México ha tenido un desarrollo energético muy inestable, la generación de energía eléctrica empezó a finales del siglo XIX, con una generadora en León Guanajuato (1879). Su primera planta hidroeléctrica fue en Chihuahua (1889). Años posteriores tuvo su más grande proyecto de una planta hidroeléctrica en Puebla [1]. Se ha buscado la obtención de este recurso por medio de las plantas hidroeléctricas esto se inició formalmente en 1938 en el Estado de México, para el año de 1960 nació la industria eléctrica, a fin de aumentar el nivel eléctrico que se demandada. Para los años 1970 y 1980 las centrales generadoras que dieron su capacidad necesaria para ese tiempo de 17,360 MW.

a. Factores energeticos en México.

México cuenta con una demanda bruta neta de 42,187 MW datos arrojados por el Sistema Interconectado Nacional [3], esta cantidad de energía eléctrica es obtenida por las diversas plantas de energía eléctrica. La generación de energía eléctrica es por medio de diferentes tipos de

tecnologías, en el 2017 se obtuvieron los siguientes datos proporcionados por la Secretaría de Energía (SENER) en el Programa de Desarrollo Del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) de generación de energía los cuales son: 50% Ciclos combinados, 13% Termoeléctricas convencionales, 10% Hidroeléctricas, 9% Carboeléctricas, 4% Turbogás, 3% Combustión interna y Lechos fluidizados, 3% Nucleoeléctricas, 3% Eólica, 2% Geotérmicas, Solares, Solares, Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), Generación Distribuida y Frenos Regenerativos, 3% Bioenergía y Cogeneración eficiente [4].

Cuando se habla de energías limpias México cuenta con los parámetros para trabajar con ellas desde sus condiciones geográficas y de clima, así como sus disponibilidades de viento, radiansa, de los océanos, mares y ríos, hasta la biomas y biogás, sin embargo, estás energías limpias no son explotadas en un máximo para ser factor crucial en la obtención de energía eléctrica, solo un 10% aproximadamente de todas estas obtenciones de energía son usadas [4].

b. Radiancia Solar en México.

México se encuentra en una zona bastante óptima cuando se habla de radiancia solar por medio de Solargis podemos obtener un mapa de la radiancia solar existente en México, como se nota se cuentan con las condiciones necesarias para tener captadores solares y así obtener energía eléctrica limpia.



Fig. 1 Radiancia solar de la República Mexicana. (2019). [image] Available at: <https://solargis.info/imaps/#c=21.352984,-99.634527&z=5> [Accessed 14 Jun. 2019].

Cuando hablamos de la temperatura respecto a energía solar nos enfocamos de gran importancia en la temperatura del aire, México cuenta con características de gran importancia si así se desearía explotar la energía solar desde el calentamiento de agua hasta la obtención de energía eléctrica.



Fig. 2 Temperaturas de la República Mexicana. (2019). [image] Available at: https://solargis.info/imaps/#tl=GeoModel:t_yr_avg&c=21.352984,-99.634527&z=5 [Accessed 14 Jun. 2019].

Lo establecido en el PRODESEN en el 2017 México obtuvo esta producción de energía eléctrica a partir de captadores solares en donde la cantidad de MW generados se ven mitigados considerando que estas plantas de energía solar se encuentran en zonas donde la radiancia solar es la más óptima.



Fig. 3 Mapa capacidad y generación en centrales solares 2017. (2019). [Imagen 2.2.13, Pág. 164] Document [PRODESEN Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional 2018 - 2032] [Accessed 14 Jun. 2019].

Sin embargo, existen muchos inconvenientes para esta energía limpia de gran impacto.

c. Norma Oficial Mexicana NOM-032-ENER-2013

“Esta norma oficial mexicana establece los límites máximos de potencia eléctrica de los equipos y aparatos electrónicos que demandan energía en espera, en tensiones monofásicas de alimentación de 100 V a 277 V en c.a. y 50 Hz o 60 Hz.” [3]. Esta norma fue establecida por Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos

Bajo esta norma se encuentran todas las empresas encargadas en hacer electrodomésticos [3]:

Lexmark Internacional de México, S. de R.L. de C.V.

LG Electronics México, S.A. de C.V.

Normalización y Certificación Electrónica, S.C.

Mabe, S.A. de C.V.

Panasonic de México, S.A. de C.V.

Samsung Electronics México, S.A. de C.V.

Secretaría de Energía

Entre otras, esta norma es aplicada a los aparatos electrónicos como televisiones digitales, decodificadores con recepción de señales de televisión vía cable, satélite o protocolo de internet, equipos para reproducción de imágenes, como son las impresoras, escáneres, copiadores y multifuncionales, hornos de microondas, equipos para la reproducción de audio independientes entre otras.

Nuestro punto de interés es analizar el consumo eléctrico generado por un hogar en cierta zona del centro del país en la cual con respecto a los datos arrojados por el Sistema Interconectado Nacional la demanda de 7, 965 MW/Hr [2]. El estado de México se encuentra dentro de la zona centro. Para poder realizar este diagnóstico eléctrico es indispensable hablar de las normas que rigen el consumo eléctrico de los aparatos domésticos.

Este diagnóstico eléctrico nos dirá si efectivamente los parámetros de medición que se obtienen con CFE efectivamente son correctos de lo contrario se podrá diagnosticar aquellos errores de medición, también nos dirá aquellos aparatos los cuales consumen más energía eléctrica para ello llevaremos una metodología, así como los recibos de consumo eléctrico emitidos por CFE.

¹ METODOLOGÍA EMPLEADA.

- Se consideran cada uno de los aparatos domésticos de consumo eléctrico.
- Se toman en cuenta la cantidad de horas que el aparato es encuentra en funcionamiento en periodo de día, semana, mes y bimestre.
- Se realizan los cálculos correspondientes para la obtención de consumo por potencia del aparato electrónico.
- Se comparan los valores obtenidos contra los valores dados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).
- Se realiza un estudio estadístico del costo energético, así como una comparación del balance de energía eléctrica y el consumo real.
- Se analizan los costos/beneficio de las medidas que se consideran de mayor consumo.
- Se buscan las principales medidas de ahorro y/o de uso eficiente de la energía.

^m DESARRO DEL DIAGNOSTICO

1. De acuerdo con cada uno de los aparatos domésticos se tomó las medidas de consumo

eléctrico, tomando en cuenta su potencia o en el caso de no contar con esta información se utiliza la cantidad de voltaje y de corriente señalados en el equipo.

- a. Si así fuera el caso se considera el tiempo de espera en el cual el aparato no se encuentra en funcionamiento.
2. Una vez obtenido los valores de potencia se tomaron las horas de uso del aparato por un día, por una semana, por un mes y por bimestre.
3. Se realizó un cálculo para la obtención de la cantidad de consumo eléctrico por horas bimestrales de cada uno de los aparatos.
4. Sabiendo el valor antes obtenido del consumo eléctrico y el valor que nos proporciona el residuo de CFE se realizó una comparación para verificar la fidelidad de nuestro diagnóstico.
5. Se realizó un análisis comparativo mediante un par de graficas el valor del consumo eléctrico diagnosticado contra el precio y del consumo eléctrico real contra el precio respectivamente.
6. Tomando en cuenta los tres valores más altos en cuanto de consumo eléctrico (KWh), se analizó el costo/beneficio de cada uno.
7. Con los tres aparatos de mayor consumo se buscaron las principales medidas de ahorro y eficiencia.

Para realizar este diagnóstico necesitamos saber la potencia, así como su consumo en horas por días, semanas y Bimestral es importante tomar estas medias con precisión debido a que esto nos ayudará a la obtención más aproximada del consumo eléctrico de un hogar. En la tabla I. Podemos encontrar la potencia de los aparatos existentes en el hogar, así como su consumo por día, semana, mes y bimestre.

DATOS DE CONSUMO ELECTRICO EN DÍAS, SEMANAS, MESES Y BIMESTRES.

Aparato	Pot (KW)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Consumo (Hrs)			
				Día	Sem	Mes	Bim
Televisor	0.052			11	77	331.1	662.2
Decodificador	0.018	12	1.5	11	77	331.1	662.2
Consola	$\frac{0.115}{2}$	12	9.6	1.3	9.1	39.13	78.26
Modem	0.024	12	2	24	168	722.4	$\frac{1444.8}{8}$

Microondas	1.65			0.1	0.7	3.01	6.02
Refrigerador	0.269			5.42	37.94	163.14	326.28
Cuarto 1	0.04			4.45	31.15	133.95	267.89
Cuarto 2	0.06			1	7	30.1	60.2
Cuarto 3	0.04			3	21	90.3	180.6
Cuarto 4	0.06			0.1	0.7	3.01	6.02
Cuarto 5	0.04			2	14	60.2	120.4
Cuarto 6	0.04			2	14	60.2	120.4
Cuarto 7	0.06			0.1	0.7	3.01	6.02
Calentador	0.52			0.5	3.5	15.05	30.1
Cargador	0.005	5	1	8	56	240.8	481.6
Cargador	0.005	5	1	8	56	240.8	481.6

n. ANÁLISIS

Con el resultado del consumo por horas bimestral y el valor asignado de la potencia se obtiene la potencia por consumo de cada aparato dentro del hogar, Tabla II.

POTENCIAS Y CONSUMO DE PARATOS ELECTRODOMESTICOS

Aparato	Potencia X Consumo (kWh)
Televisor	37.56
Decodificador	11.92
Cosola	9.02
Modem	34.68
Microondas	9.933
Refrigerador	87.77
Cuarto 1 (Sala)	10.72
Cuarto 2 (Cocina)	14.45
Cuarto 3 (Baño)	7.22
Cuarto 4 (Sotihuella)	1.08
Cuarto 5	5.54
Cuarto 6	5.54
Cuarto 7 (Pasillo)	2.89
Calentador de Agua	34.43
Cargador de Celular 1	2.408
Cargador de Celular 2	3.311

Cargador de Celular 3	2.408
-----------------------	-------

Con los datos proporcionados podemos obtener una gráfica del consumo eléctrico por cada aparato (Fig. 4).

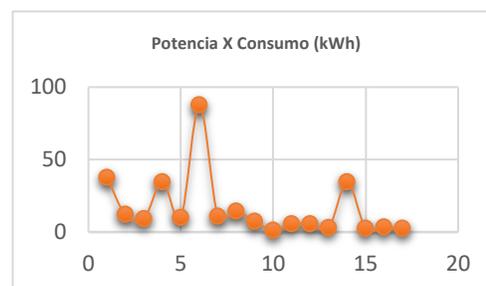


Fig. 4 Gráfica del consume electrico por los aparatos.

Esta gráfica nos indica cuales son los aparatos que consumen mayor cantidad de energía eléctrica comparado con los demás.

CONSUMOS Y PRECIOS

Periodos	Importe	Consumo	Importe/Consumo
del 10 DIC 18 al 11 FEB 19	\$237.00	222	\$1.068
del 11 OCT 18 al 10 DIC 18	\$223.00	210	\$1.062
del 13 AGO 18 al 11 OCT 18	\$255.00	238	\$1.071
del 13 JUN 18 al 13 AGO 18	\$203.00	194	\$1.046
del 13 ABR 18 al 13 JUN 18	\$185.00	179	\$1.034
del 12 FEB 18 al 13 ABR 18	\$293.00	269	\$1.089
del 11 DIC 17 al 12 FEB 18	\$741.00	403	\$1.839
del 11 OCT 17 al 11 DIC 17	\$307.00	280	\$1.096
del 14 AGO 17 al 11 OCT 17	\$282.00	260	\$1.085
del 13 JUN 17 al 14 AGO 17	\$416.00	311	\$1.338
del 11 ABR 17 al 13 JUN 17	\$444.00	319	\$1.392
del 10 FEB 17 al 11 ABR 17	\$441.00	318	\$1.387
del 12 DIC 16 al 10 FEB 17	\$493.00	333	\$1.480
del 12 OCT 16 al 12 DIC 16	\$441.00	318	\$1.387
del 11 AGO 16 al 12 OCT 16	\$288.00	265	\$1.087
del 13 JUN 16 al 11 AGO 16	\$258.00	240	\$1.075
del 12 ABR 16 al 13 JUN 16	\$243.00	227	\$1.070

En la tabla III, podemos apreciar el consumo eléctrico por kWh considerado bimestres, así como el precio por cada kW y el monto total registrado por CFE.

a. Balance de energía eléctrica y comparación con el consumo real.

Sabiendo el valor del consumo real de energía eléctrica (CREE) que nos proporcionan los recibos emitidos por la comisión federal de electricidad (CFE) podemos corroborar los valores antes obtenidos respecto al consumo estimado de energía eléctrica (CEEE). Obteniendo un error relativo como se presenta en la tabla IV.

CONSUMO BIMESTRAS CALCULADO COMPARADO CON EL CONSUMO REGISTRADO.

CREE Dos Bimestre Anteriores (kW)		CREE (kW)	CEEE		% Error Relativo
			Bimestre		
260	311	285.5	ΣEi	280.88	1.619

b. Factores energeticos en México. Principales medidas de ahorro y/o de uso eficiente de energía para los 2 principales consumidores.

Como se observa en la tabla V se tiene que el modem, el refrigerador y el televisor como los principales consumidores de electricidad.

APARATOS DE ALTO CONSUMO DE ENERGÍA

Aparato	Potencia x Consumo (KWh)
Televisor	37.56
Decodificador	11.92
Modem	34.68
Refrigerador	87.77
Calentador de agua	34.43

Haciendo uso de la norma NOM-032-ENER-2013,

Televisor (TV): Es un producto electrónico diseñado en primera instancia, para mostrar y recibir señales audiovisuales transmitidas mediante señales terrestres (ondas de radio), redes de cable, satelitales, protocolo de Internet (PI) u otro tipo señales analógicas o digitales; está conformado por un sintonizador/receptor y una pantalla, integrados en un gabinete. El producto puede utilizarse a través de la incorporación de diversas tecnologías de pantalla tales como: Pantalla de Cristal Líquido (LCD, por sus siglas en inglés), Pantalla de Panel de Plasma (PDP, por sus siglas en inglés), Diodos Emisores de Luz (LED, por sus siglas en inglés), Diodos

Emisores de Luz Orgánicos (OLED, por sus siglas en inglés) u otros sistemas de despliegue [3].

Todos los televisores con pantalla de LED, LCD, PDP y OLED deben tener una potencia eléctrica en modo de espera igual o menor que lo establecido en la Tabla VI.

POTENCIA ELECTRICA DE TELEVISORES

Tipo de pantalla de los televisores	Potencia eléctrica máxima en modo de espera (W)
LED	1,00
LCD	1,00
PDP	1,00
OLED	1,00

“Decodificador vía cable: Dispositivo cuya función principal es recibir y descifrar las señales de televisión de un sistema de distribución de cable comunitario de banda ancha, fibra/coaxial híbrido, y enviarlas a un aparato con pantalla y/o aparato de grabación”.

“Decodificador vía Protocolo de Internet (PI): Dispositivo donde la función principal es recibir y descifrar las señales de televisión/video encapsuladas en paquetes de PI y llevarlas a la pantalla y/o aparato de grabación”.

“Decodificador vía satélite: Dispositivo cuya función principal es recibir y descifrar señales de televisión de un sistema de distribución satelital y enviarlas a una pantalla y/o aparato de grabación. Decodificadores con recepción de señales de televisión vía terrestre, cable, satélite o PI [3]”.

“Todos los decodificadores con recepción de señales de televisión vía terrestre, cable, satélite o PI deben tener una potencia eléctrica en modo de espera igual o menor que lo establecido en la Tabla VII [3]”.

POTENCIA ELECTRICA DE DECODIFICADORES

Decodificador	Potencia eléctrica máxima en modo de espera (W)
Con grabación de video digital (DVR)	15,00
Sin grabación de video digital (sin DVR)	5,00

Norma Oficial Mexicana NOM-015-ENER-2012, Eficiencia Energética de Refrigeradores y Congeladores Electrodomésticos. Límites, Métodos de Prueba y Etiquetado.

La presente Norma Oficial Mexicana fija los límites máximos de consumo de energía de los refrigeradores y congeladores electrodomésticos operados por motocompesor hermético, establece los métodos de prueba para determinar dicho consumo de energía y calcular el volumen refrigerado total, y especifica la etiqueta de consumo de energía y su contenido. Tabla VIII.

ENERGÍA EMPLEADA POR EL REFRIGERADOR

Descripción del aparato electrodoméstico	EMAX
Refrigerador solo, convencional y refrigerador-congelador (R/C) con deshielo manual o semiautomático.	0,31VA ± 248,4

◦ SIMULACIÓN

Empleando la plataforma libre SISIFO la cual nos puede simular un panel solar considerando un sistema fotovoltaico para un hogar en México se tiene las siguientes consideraciones.

En principio se considera una celda fotovoltaica de Si con un coeficiente de variación de potencia 0.42%/°C, con una temperatura nominal de operación de 45 °C, se toma en consideración la radiancia solar de un año bajo la normativa registrada en la base de datos NREL NSRDB (Norte y Sur América desde 60°N a 20°S, donde nos proporciona también la temperatura del ambiente equivale a un rango de 10°C a 20 °C. Bajo estas condiciones y comparando con los datos registrados bajo el sistema Meteorológico Nacional Mexicano denotamos que existe concordancia a la media dada por el SISIFO.

En la parte de generador se considera las consideraciones estándar. Potencia nominal total del sistema 360 kWp el transformador 360 kWp potencia real 0.94. El inversor potencia 310 kW, consumo del equipo 0.1. Se considera un tiempo de simulación de un año completo con un paso de 60 en hora solar.

En donde se obtiene la siguiente grafica (Fig. 5) de generación de energía por el mes.

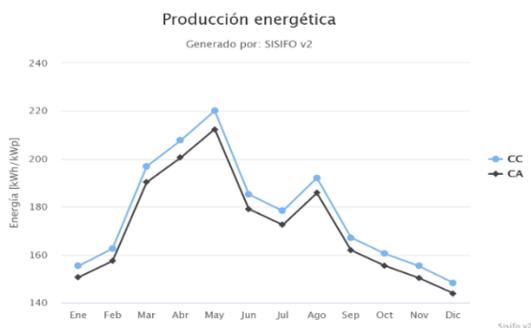


Fig. 4 Generación de energía corriente directa en azul, corriente alterna en negro.

A continuación, se presentan en la tabla X los valores obtenidos de la simulación:

GENERACIÓN DE ENERGÍA SIMULADOS

Periodo	CC [kWh/kWp]	CA [kWh/kWp]
Ene	155.3	150.6
Feb	162.6	157.4
Mar	196.8	190.2
Abr	207.7	200.5
May	220.1	212.4
Jun	185.2	179.1
Jul	178.2	172.4
Ago	192.1	185.8
Sep	167.2	161.9
Oct	160.4	153.7
Nov	155.2	150.3
Dic	148.3	143.9

Como se puede apreciar si se hace una comparación de con el consumo dado por los aparatos y que se considera solo una celda fotovoltaica, se puede decir que se mitiga el consumo eléctrico generado por los aparatos y reduciendo el costos y consumo, si se tuviera dos celdas se satisficaría en su totalidad el consumo eléctrico generado por el hogar.

CONCLUSIONES

Es necesario el implementar el uso de celdas fotovoltaicas para la generación eléctrica en el hogar debido a que gracias a ellas se vuelve sustentable el hogar y sobre todo existe un beneficio económico. Con ayuda de este diagnóstico nos podemos percatar de cuáles son los “vampiros” de alto consumo de energía eléctrica, en donde se verifico que los valores estimados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) son parecidos con dicho diagnóstico. Se pudo determinar y buscar las maneras para que la cantidad de consumo disminuyeran cambiando algunos aparatos domésticos para que los consumos de estos disminuyan.

REFERENCIAS

- CFE Comisi Comisión Federal de Electricidad. (2015). Acerca de CFE. 15/06/2019, de CFE Sitio web: <https://www.cfe.mx/acercacfe/Quienes%20somos/Pages/historia.aspx>
- El Centro Nacional de Control de Energía (CENACE). (2018). Demanda del Sistema Eléctrico Nacional. 12/05/2019, de Secretaria de Energía Sitio web: <https://www.cenace.gob.mx/Paginas/Publicas/Info/DemandaRegional.aspx>
- Comisión Nacional para el uso Eficiente de la Energía. (2013). NORMA Oficial Mexicana NOM-032-ENER-2013. México: Segretaria de energia.
- Secretaria de Energía. (2018). Programa de desarrollo del sistema elpctrico nacional 2018 - 2032. México: SENER.

Obtenção e caracterização físico-química de uma membrana biológica de fibroína obtida a partir do casulo do bicho da seda

Ingrid Lima, Mara Paresque, Bonifácio Fialho de Oliveira, Heleno Souza da Silva, Renata Simão, José de Castro

Ingrid Russoni de Lima
PPGEM-Pós-Graduação em Engenharia
Metalúrgica-UFF-Volta Redonda
Universidade Federal Fluminense
Brasil
ingridrussoni@gmail.com

Mara Paresque
PPGEM-Pós-Graduação em Engenharia
Metalúrgica-UFF-Volta Redonda
Universidade Federal Fluminense
Brasil paresquemara@gmail.com

Bonifácio Fialho de Oliveira
PPGEM-Pós-Graduação em Engenharia
Metalúrgica-UFF-Volta Redonda
Universidade Federal Fluminense
Brasil bonifaciofialho@id.uff.br

Heleno Souza da Silva
PEMM-Pós-Graduação em Engenharia
de Materiais-COPPE/UFRJ
Universidade Federal do rio de Janeiro-
Brasil helenosouza33@gmail.com

Renata Antoum Simão
PEMM-Pós-Graduação em Engenharia
de Materiais-COPPE/UFRJ
Universidade Federal do rio de Janeiro
Brasil renata@metalmat.uff.br

José Adilson de Castro
PPGEM-Pós-Graduação em Engenharia
Metalúrgica-UFF-Volta Redonda
Universidade Federal Fluminense
Brasil joseadilsoncastro@id.uff.br

Gláucio Soares da Fonseca PPGEM-
Pós-Graduação em Engenharia
Metalúrgica-UFF-Volta Redonda
Universidade Federal Fluminense
Brasil glauci@meta.ecimvr.uff.br

Abstract— *We obtained the fibroin membrane by the reverse method from the use of the freeze-dryer from the transformation of the liquid state of the fibroin of the silkworm into a solid crystalline state. The lyophilization process took place for 2 consecutive days in a brand lyophilizer (Liobrás L101NFRJ). It was obtained from fibroin solid crystals and after a small heating in an oven a pasty mass is formed in the consistency of a thick paint (the protocol lasted an average of 3 months). Thus they were brushed and sprayed on inert polymeric membranes previously obtained and then the membranes are dried under study at minimum lower temperatures. The membrane was characterized by scanning microscopy (SEM), thermogravimetric analysis (TGA) and Raman analysis. At the moment there are analyses of liquid state rheometer, Fourier FTIR transform spectroscopy, X-ray diffraction (DRX) and Atomic Force Microscopy (AFM). Previous results showed that the fibroin membrane was obtained with the presence of microporosities, which could favor cellular interaction. The TGA analyses show that the loss of mass occurred at 2000C. The other analyses are still performed for future insertion in the study.*

Keywords: *fibroin, protein, biological membrane, physical-chemistry characterization*

INTRODUÇÃO

Fibroína vem sendo estudada como biomateriais devido a sua propriedade mecânica inerentes de resistência mecânica sob espessuras mínimas, além disso é uma proteína insolúvel sintetizada por aranhas, pela larva do bicho-da-seda (*bombyx mori*) dentre outras mariposas como *Antheraea*, *Cricula*, *Samia* (mariposa), *Gonometa* e numerosos outros insetos. A proteína da seda consiste em folhas beta antiparalelas. Onde a sequência Glicina-Serina-Glicina-Alanina-Glicina-Alanina) é a sua estrutura primária. A percentagem de Glicina maior presente permite a embalagem apertada da folha como podemos observar na Figura 1 abaixo. Em relação aos fios nanométricos sintetizados, constitui o de maior resistência mecânica à tração, o que também contribui para a estrutura rígida da seda. Dentre os materiais biológicos existentes é um dos que possui maior resistência mecânica, em especial nas suas nanofibras, por isso tem-se despertado enorme interesse dos cientistas a respeito dessa proteína.

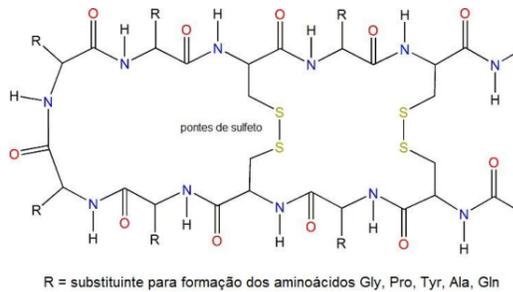


Figura 1: Estrutura molecular da Fibroína

Nossa proteína fibroína usada é oriunda do bicho da seda, neste caso o casulo é composto por serina e fibroína, sendo que nosso interesse se deve apenas na parte da fibra (ptn com massa molecular de 25 a 325 KDa). É organizada sobre 3 estruturas e seda I é a fibroína das glândulas emitida a partir do bicho da seda (*Bombyx mori*), a seda II do arranjo de moléculas de fibroína com melhores propriedades mecânicas e a seda III que representa a interface entre a proteína, o ar e a água.

O intuito de usarmos a proteína seria o de produzir superfícies mais biocompatíveis favorecendo assim a sua melhor interatividade e biointeração com o meio e fluidos biológicos cujo tempo e interação inicial são condições sinequanon. Assim, o objetivo do nosso trabalho foi o de produzir membrana inteiramente recobertas com a proteína inicialmente para para ser usada como padrão inicial para futuramente fazer futuras modificações. Produzimos biomembranas com expectativa futura de serem biocompatíveis para aplicação futura de regeneração óssea guiada. Neste trabalho houve a produção de micro-filmes de fibroína na forma de membrana. Neste trabalho houve a produção de membranas de fibroína obtidas por pincelamento e aspersão, após a conversão do estado líquido obtido do extrato puro, seguida de congelamento e liofilização. A metodologia de obtenção pelo método reverso foi inteiramente desenvolvida em nosso laboratório com os princípios básicos a partir de algumas referências (Aciari,2013). Em média leva-se cerca de 3 meses para obter os parâmetros ótimos de protocolo padrão. A caracterização físico-química do biomaterial ocorreu por espectroscopia do infra-vermelho (FTIR), Análise termogravimétrica (TGA), Microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados mostraram ser possível a obtenção do filme de fibroína.

II MATERIAL E MÉTODOS

2.1- Preparação das membranas de fibroína

Micropartículas são produzidas na forma de cristais ao promovermos o processo reverso de transformação de estado da matéria. Isso só foi possível por meio do uso de um liofilizador da marca (Liobras L101). Neste caso obtemos o extrato puro de fibroína através da compra do extrato puro obtido a partir de casulos do bicho da seda. Isso

somente foi possível por meio da compra e obtenção dos reagentes por meio do financiamento CAPES/PNPD. Micropartículas são produzidas na forma de microcristalitos ao promovermos o processo reverso de liofilização de transformação de estado da matéria. Isso se tornou possível por meio do uso do liofilizador. Neste caso, obtemos o extrato puro de fibroína obtido de casulos do bicho, com protocolo específico, obteve-se o extrato líquido obtido comercialmente

Obteve o sólido da fibroína do bicho da seda obtida pelo processo de liofilização por 2 dias consecutivo em liofilizador operando nos parâmetros...O líquido foi congelado em freez partir do tubo Falcon foi feita a transformação do estado sólido sólido seco sem passar pelo estado líquido em que a este processo obtida de cristais sólidos de fibroína e após um pequeno aquecimento massa pastosa na consistência de uma tinta grossa (3 meses). Assim as mesmas foram pinceladas em membranas de previamente, e, a estas foram pinceladas em toda a superfície estéril, em seguida as membranas são secas em estufa em temperatura ambiente a membrana foi caracterizada por Microscopia de varredura (MI (TGA), Análise Raman. E no momento estão sendo realizadas : transformada de Fourier FTIR, Difração dos Raios X (DRX) e (AFM). Resultados prévios mostram a obtenção da membrana microporosidades o que poderia favorecer a interação celular que a perda de massa das membranas ocorreram a 200°C realizadas para inserção futura no trabalho

2.2.A obtenção por processo de Liofilização

A liofilização é o método mais comumente utilizado para a preparação de proteínas desidratadas, as quais devem apresentar estabilidade adequada por longo período de armazenagem em temperaturas ambientes. Sendo assim obtem-se o extrato da fibroína obtida do casulo de seda, sendo que no nosso caso foi obtido comercialmente, congela-se em tubos Falcon a parte líquida por mais de 1 dia. Em seguida, tira-se imediatamente e leva-se ao liofilizador por 2 dias consecutivos obtendo assim a proteína seca na forma de cristais, de aspecto pré-pastoso.

2.3- Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi usada a fim de identificar rugosidade de superfície e estrutura topográfica e possíveis concavidades e glóbulos de superfície. As amostras de membrana de fibroína foram metalizadas em um metalizador marca Emitech, modelo K550X, sob corrente de 50 mA por 180 s. O MEV apresenta detector de elétrons secundários (Jeol JSM 5800 LV UFF Volta Redonda). Os parâmetros de operação utilizados foram voltagem de 20kVa 21.24kV, WD de 12mm e distância de trabalho de 14-15mm

2.4-Análise Termogravimétrica da membrana de Fibroína

As membranas de fibroína, bem como o extrato líquido obtido comercial usado como matéria prima base foram analisadas no equipamento de Termogravimetria (TGA) localizados na Pós-Graduação em Engenharia de Volta redonda-UFF.

III-RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1- Obtenção da membrana de fibroína

Foi possível obter a membrana de fibroína pela técnica da liofilização em seguida aspersão sobre o substrato prévio de polímero inerte. O aspecto obtido das mebranas biológicas de fibroína podem ser observadas abaixo, de aspecto marron acastanhado.

RESULTADOS E DICUSSÃO



Figura 1: Membrana de Fibroína

3.2- Microscopia Eletrônica de varredura (MEV)

Podemos analisar no Microscópio Eletrônico de Varredura Obteve-se uma membrana com conformação estável e morfologia na forma de glóbulos. Foi possível avaliar a superfície topográfica da membrana e identificar um revestimento relativamente homogêneo. A fibroína como sendo proteína foi disposta de maneira pura se acomodando na forma de grânulos em especial denominados de glóbulos no caso da fibroína presentes em toda sua extensão de área de superfície como podemos perceber na análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Estes aspectos topográficos propiciam a presença de microporosidades, além do próprio fato da fibroína ser uma

proteína biológica constituindo assim a biomembrana propriamente dita, favorecendo assim a biocompatibilidade, interação com o meio e ausência de aspectos citotóxicos [4],[5].

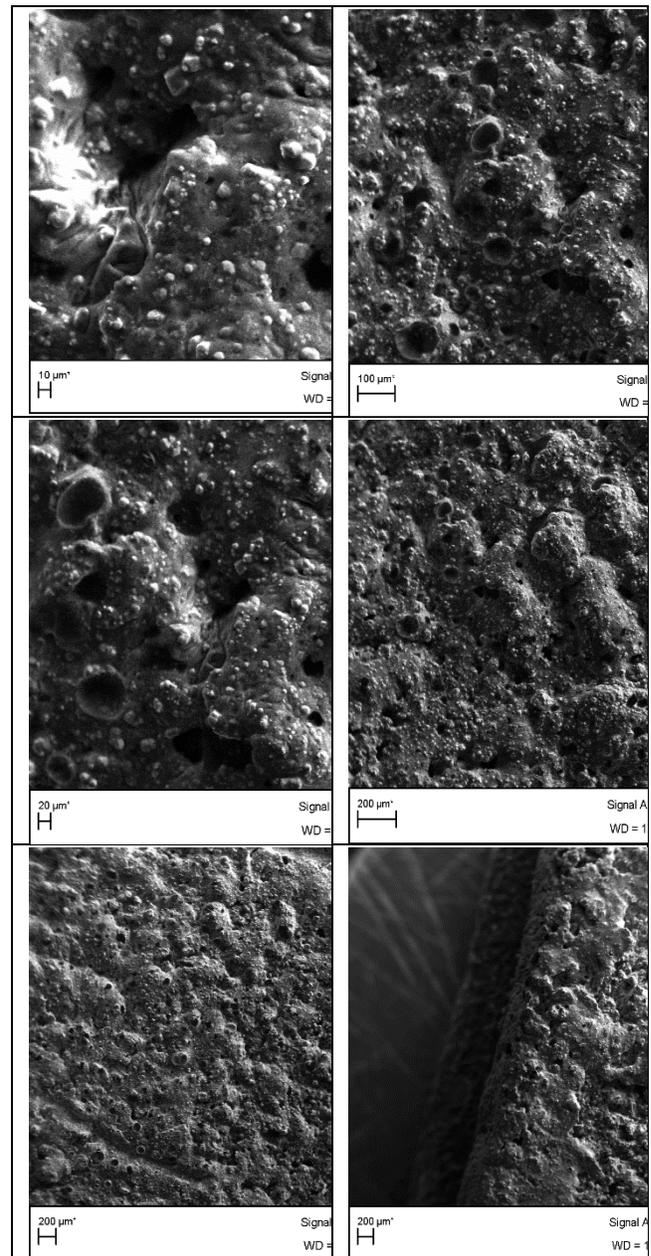


Figura 2: Análise de Microscopia eletrônica de varredura das membranas de Fibroína

Dessa maneira, obtemos os filmes de proteína ainda de não da espessura esperada, mas a caminho de uma cobertura de superfície homogênea, dispostas na forma de formação de glóbulos, capaz de revestir todo o substrato de superfície.

3.2- Análise termogravimétrica (TGA) das membranas obtidas de fibroína

A análise termogravimétrica (TGA) possibilita determinar continuamente a massa da amostra durante a submissão de

uma taxa de aquecimento e com isso a observação contínua do ponto ou faixa referencial em que ocorre a perda de massa e também quantifica-la em função do percentual dessa perda de massa. A TGA é assim muito usada para avaliar a degradação, desidratação, intumescimento e perda de massa. A partir da primeira derivada dessas curvas podemos prever fenômenos como o início ou o término dos processos. Durante a etapa do processo, pode-se notar que a perda de massa que ocorre na faixa de 25 a 50°C, o segundo patamar é a perda de massa, neste caso a perda de massa da fibroína foi aferida primeiramente em seu estado líquido “in natura” e, em um segundo momento em seu estado sólido já na forma de membrana onde a perda de massa da membrana de fibroína ocorreu na faixa 200°C, faixa um pouco maior que o estado líquido que ocorreu na faixa de 150 °C como podemos observar na Figura 3 abaixo. A perda de massa da fibroína na forma de revestimento de superfície da membrana ocorreu na faixa de 200°C. estes estudos corroboram os estudos de Polak (2010) em um dos primeiros estudos no Brasil a respeito de fibroína[2], [3].

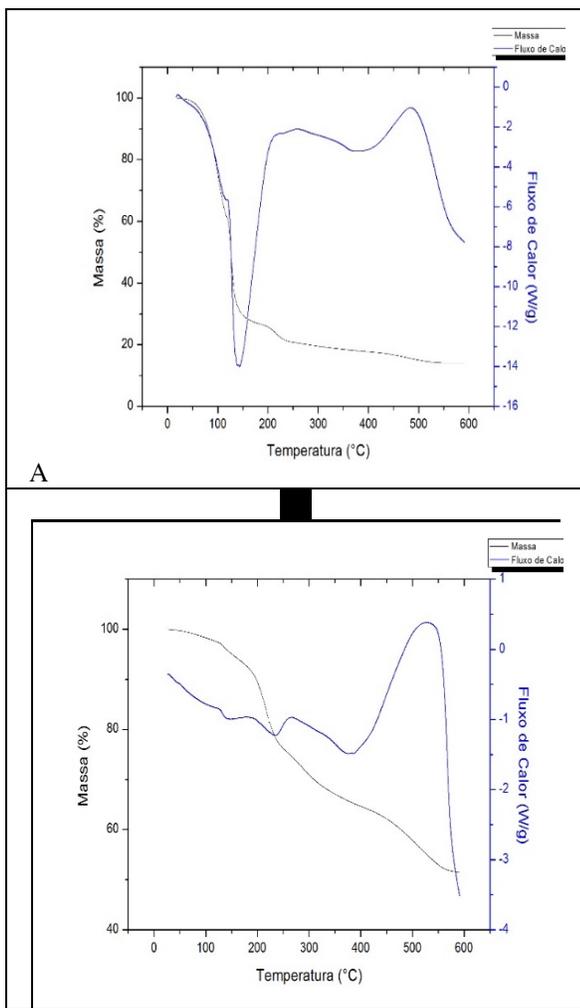


Figura 3: Análise Termogravimétrica (TGA) da proteína fibroína: a) quando ainda no estado líquido da matéria e b) quando no estado sólido da matéria\ como revestimento da membrana

3.3- Análise da membrana de fibroína por espectroscopia Raman

De acordo com esta metodologia inovadora que ainda está sendo usada para identificar os padrões da fibroína por meio da criação de bancos de dados foi possível obter a técnica por meio de identificações dos padrões ainda estudada em todo o mundo. Nossos resultados ainda demonstram haver problemas na determinação dos padrões talvez devido as interferências ainda presentes na interação do laser diretamente na superfície da membrana de fibroína. Obtemos até neste momento apenas o sinal de fluorescência das amostras de fibroína estando os picos na faixa de 300, 450 e 700.

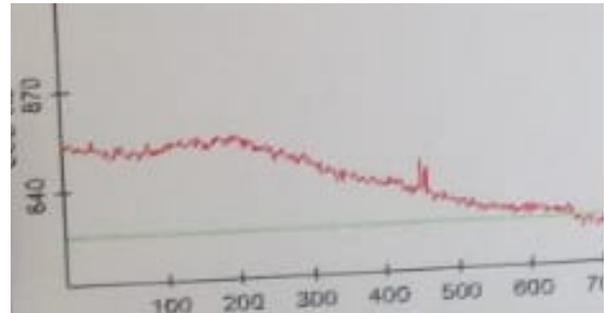


Figura 4: Espectro Raman inicial inferindo apenas fluorescência

A espectroscopia Raman tem mostrado uma ótima ferramenta na Indústria farmacêutica pela facilidade, rapidez, monitoramento de incontáveis grupamentos químicos. É uma técnica altamente sensível, entretanto por enquanto ainda estamos estabelecendo os padrões da membrana fibroína nos nossos bancos de dados.

3.4- Modelagem da Membrana da Fibroína

Uma espessura ideal da membrana para a aplicação da regeneração óssea guiada deveria ter a espessura de 1cm de espessura, e dimensões laterais de 1cm por 3 cm de dimensões laterais considerando as rugosidades do sistema, assim iremos simulamos as dimensões em Geogebra (free) como visto na Figura 5 e as análises de tensão que ainda estão gerenciados no programa ANSYS Software de elementos finitos Acadêmico.

3.5-Análise de intumescimento, Microscopia de Força Atômica (AFM), espectroscopia de infra-vermelho (FTIR) e Difração dos raios-X (DRX) etambém a análise da viscosidade da fibroína em estado líquido ainda estão sendo realizados a fim de dar continuidade a este trabalho. Até Setembro no evento do Congresso provavelmente já teremos realizado toda esta parte.

1- Conclusão

Nossos resultados iniciais demonstram ser possível obter a membrana de fibroína, entretanto ensaios de otimização ainda devem ser dados continuidade. Foi possível

inicialmente a membrana convertendo o estado líquido para sólido na matéria perfazendo o revestimento das membranas de fibroína. As técnicas de caracterização físico-química demonstraram ser possível caracterizar as amostras no seu ponto chave sendo que o MEV demonstrou a obtenção de uma topografia favorável, já análise termogravimétrica (TGA) mostrou a perda de massa na faixa de 200°C da fibroína, Raman ainda precisa ser protocolado, Prosseguimos com o modelamento da membrana e demais técnicas como AFM, DRX e FTIR ainda estão sendo realizados até o período do Congresso Cieemat 2019.

Referências Bibliográficas

- [1] Aciari, J. R.F., Preparação de micropartículas de fibroína da seda calcificadas. Dissertação de mestrado do programa Interunidades Bioengenharia da escola de Engenharia de São Carlos da Faculdade de Medicina de ribeirão preto. Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo\USP, 2013
- [2] Polak, R., Preparação, avaliação físico-química e biológica *in vitro*, de *pericárdio bovino conjugado fibroína de seda\quitosana via liofilização e irradiação*, Universidade de São Paulo-USP, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Dissertação de mestrado, 2010.
- [3] Grínia, M., Marisa, N., Beppu, M., Preparação e caracterização mecânica de membranas porosas e densas de fibroína de seda, UNICAMP, departamento de Termofluidodinâmica, 8º Congresso brasileiro de polímeros
- [4] Araújo, L. C. P., Júnior, J. M. O., Aranha, N., Synthesis and characterization of fibroin scaffolds, *Matéria*, v. 23, n.4., 2018
- [5] Freire, R. A., Assunção de Jesus, M. A., Rocha, I. A., Andrade, G. S., Lima, P. A, Preparação e caraterização de diferentes composições de enxertos 3D à base de Quitosana e fibroína para regeneração óssea guiada, os desafios contemporâneos para a sustentabilidade e equidade em saúde, CIE. De Enfermagem., v. 1., m. 1, 2017
- [6] Bexiga, N.M., Preparo e avaliação comparativa das propriedades físico-químicas de hidrogéis de seda com conteúdo variado de serina obtidos a partir dos cloretos de cálcio e lítio em sistemas distintos de solventes, Universidade de São paulo\USP, faculdades de Ciências farmacêuticas, 2014

Viabilidade do Ambiente de Contratação Livre para Órgãos Públicos

Humberto de Oliveira Trindade

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, Brasil

Humbertotrindade@ibest.com.br

Maurício Sperandio

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, Brasil

Sperandio.m@gmail.com

Resumo — Este trabalho tem como propósito demonstrar o estudo de viabilidade econômica em órgãos públicos, mediante a migração do Ambiente de Contratação Regulada para o Ambiente de Contratação Livre, tendo como estudo de caso a Universidade Federal de Santa Maria em uma primeira análise, abrangendo em seguida o cenário nacional e o comportamento internacional nessa modalidade de Ambiente de Contratação. O levantamento de dados foi realizado quantitativamente mediante correio eletrônico, contatos diretos com pessoas da área, visita em sites especializados, bem como consulta à materiais bibliográficos acadêmicos. Foram pesquisadas também a conduta interna dos órgãos públicos mostrando características que impactam o desenvolvimento dessa forma de comércio e que devem ser alteradas. Nos resultados estão apresentados a atratividade do Ambiente de Contratação Livre, concluindo se tratar da melhor opção de comércio de energia para tais órgãos.

Palavras-chaves — Ambiente de Contratação Livre, Órgãos Públicos, Universidades Federais, Cenário Nacional, Cenário Internacional, Cálculo do Valor Presente Líquido.

I. INTRODUÇÃO

Desde sua origem em 1995 pela Lei 9074/95 [1], o Ambiente de Contratação Livre (ACL) está à disposição de quem preencha os requisitos para ser um consumidor livre, isto é, comprar a energia elétrica de fornecedores que não sejam apenas a concessionária de sua área de abrangência.

A motivação que leva esse trabalho é o fato que todos os recursos técnicos já foram explorados tendo como foco a eficiência energética [...], sendo pertinente uma análise agora mais criteriosa no campo da legislação e da economia para que os gastos dos recursos públicos sejam minimizados da melhor maneira possível [2]. Desde 2015 há um projeto de Lei (PL) 1917/2015 [3] que prevê uma redução escalonada das exigências para migração de consumidores cativos para o ambiente de contratação livre. Nesse artigo serão descritos os contratos envolvidos nesse tipo de contrato (capítulo II), alguns

direitos e deveres (capítulo III) nessa modalidade de comércio, um estudo de caso com a Universidade Federal de Santa Maria (capítulo IV), o funcionamento da Administração Pública, interna e a nível nacional (capítulo V), uma breve pesquisa sobre a existência de outros órgãos públicos no ACL (capítulo VI) e o alguns detalhes do cenário internacional (capítulo VII). Uma introdução desse assunto já foi abordada em artigo apresentado na CBQEE 2017. Agora aqui estarão apresentados os resultados das simulações mais recentes sobre o assunto, o que culminou em uma Dissertação de Mestrado sobre o tema.

Atualmente há dois grandes grupos de consumidores que podem estar no ACL:

A. Definição dos Grupos

- 1) *Grupo 1*: Unidades consumidoras com carga maior ou igual a 3 MW atendidas em tensão igual ou maior que 69 kV. São geralmente consumidores do subgrupo A3, A2 e A1 (A3 são consumidores atendidos em 69 kV, A2 são consumidores atendidos entre 88 a 138 kV e A1 são consumidores atendidos em tensão igual ou superior a 230 kV) [4] bem como qualquer unidade consumidora com carga igual ou superior a 3 MW, em qualquer tensão, desde que sua instalação tenha ocorrido após 7 de julho de 1995.
- 2) *Grupo 2*: Unidades consideradas especiais. É a unidade ou grupo de unidades consumidoras localizadas em área contígua ou de mesmo CNPJ cuja soma das demandas contratadas seja maior ou igual a 500 kW e tensão mínima de 2,3 kV. A exigência que esses consumidores só poderão comprar o que chamamos de energia incentivada, isso é, gerada a partir de fonte solar, eólica, biomassa e de Pequenas Centrais

Hidrelétricas (PCHs), que não injetem na rede mais que 30 MW.

No trabalho apresentado anteriormente buscou-se a implementação de uma subestação na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) para que, além do benefício da redução da tarifa da demanda contratada devido à elevação da tensão para a categoria A3, mesmo no Ambiente de Contratação Regulada (ACR), também possibilitasse a migração para o Ambiente de Contratação Livre (ACL) como Grupo 1. No entanto, por questões de custo e celeridade, o estudo agora a ser apresentado mostrará que inserir a UFSM como Grupo 2 (Cliente Especial) é mais rápido, exclui a necessidade de elevação de tensão e ainda dá a possibilidade de retorno imediato para o ACR, em caso de arrependimento.

II. CONTRATOS ENVOLVIDOS

Como é costumeiro nas relações comerciais, há a necessidade de contratos bilaterais reforçando os direitos e os deveres das partes. No Ambiente de Contratação Livre (ACL), esses contratos são mais visíveis, havendo um Contrato com a geração escolhida (ou comercializador), com o agente da transmissão (ou distribuição) devido ao caminho da energia (conhecido como “pelo fio”) e com a CCEE. Aliás, no ACL todos os contratos envolvidos deverão ser registrados na CCEE para fins de contabilização [5]. A Fig. 1 abaixo mostra uma geral de todos os contratos.

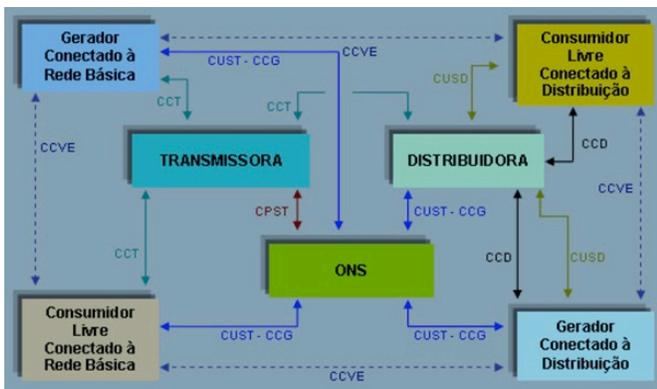


Fig. 1. Contrato entre os agentes

Sendo mencionados somente os contratos obrigatórios no ACL, como segue:

Para todos os casos, seja conexão na rede básica (transmissão), seja na distribuição, há o Contrato de Compra e Venda de Energia (CCVE) com o fornecedor da energia.

Existe o Contrato de Uso do Sistema de Distribuição (CUSD), com a Distribuidora, explicitando os encargos da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), as condições de pagamento e faturamento, detalhes da medição, prazos e possíveis aditamentos.

Há o Contrato de Conexão à Distribuição (CCD), onde é observado a obrigatoriedade aos procedimentos de distribuição, a capacidade de demanda da conexão, as responsabilidades por danos materiais que ocorram e penalidades no caso de descumprimentos.

Existe o Contrato de Uso do Sistema de Transmissão (CUST), firmado entre o Operador Nacional do Sistema (ONS) e por todas as empresas transmissoras e usuários dos serviços de transmissão.

Há o Contrato de Constituição de Garantia (CCG), firmado entre os usuários e o ONS, tendo os bancos gestores como intervenientes. Trata das garantias comerciais para liquidação mensal dos encargos gerados ao usar a rede básica.

Finalmente há também o Contrato de Conexão à Transmissão (CCT) que tem como objeto declarar todos os direitos e deveres das partes, tanto técnicas quanto comerciais que irão regular a conexão com a rede básica. O ONS faz a interveniência do contrato entre as partes. O valor desse contrato é pago mensalmente e reajustado pelo Índice Geral de Preços do Mercado (IGP-M), sendo um índice utilizado para correção de contratos de aluguel e como indexador de algumas tarifas como energia elétrica.

Ora, no ACL os contratos que deverão ser firmados são o CCVE, CUSD e CCD quando conectados à distribuição e o CCVE, CUST-CCG e CCT no caso de conexão à Rede Básica, ou seja, diretamente na Transmissão.

III. DIREITOS E DEVERES NO ACL

Para adesão ao Mercado Livre os seguintes passos devem ser seguidos:

- Renunciar o contrato vigente com a Distribuidora. Não havendo prazo explícito, a migração poderá ocorrer após 12 meses;

- Se tornar membro da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE);

- Assinar o CCVE com o fornecedor o CCD e CUSD com a Distribuidora, ou CUST-CGC e CCT com a Transmissora;

- Adequar o sistema de medição.

Quanto aos prazos:

- Além dos 12 meses já mencionados, o interessado também deve comunicar à Distribuidora em dias que não extrapole 75 dias antes da data de um leilão de energia, salvo algo expressamente em contrário;

- O retorno ao ACR só poderá ser feito após cinco anos no ACL, salvo pra Clientes Especiais;

Quanto as vantagens (ou desvantagens) comerciais:

- Por mérito da resolução nº 611/2014, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [6], os consumidores livres também podem vender a energia não utilizada. O valor, nesse caso, não é o contratado mas o Preço de Liquidação das Diferenças (PLD). Esse valor é muito volátil e uma compra emergencial de energia pode ter um preço alto e a venda do excedente um preço baixo. Isso representa um risco;

- Por lei, Distribuidoras Públicas não podem pertencer ao ACL. Isso é devido à própria natureza de um órgão público que normalmente não tem a celeridade necessária para o dinamismo que os leilões de energia exigem;

- Há a necessidade de lastro, ou seja, uma garantia que, pelo ACL, terá 100% do seu consumo atendido. A CCEE tem esse papel de apresentar o lastro do interessado com base nos contratos de venda e compra dos agentes, em um histórico de 12 meses.

Quanto às penalidades, o consumidor livre será notificado mensalmente através dos Termos de Notificação. A origem mais comum das mesmas é a Insuficiência de Cobertura do Consumo, que é apurada pela média de consumo de 12 meses aplicados à TUSD ou à TUST.

Além do mais, como consumidor livre, o cliente se torna obrigado à totalidade da sua carga, mesmo que tenha que comprar de vários fornecedores.

IV. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso da UFSM apresentado na Dissertação tem exaustivas comparações, haja vista a instituição possuir doze (12) Unidades Consumidoras (UC) com diferentes demandas e tensões de alimentação. Procurando ser mais objetivo, aqui serão apresentados os dados da UC Camobi, por se tratar da Unidade Consumidora mais impactante nas simulações.

...A classificação desse consumidor é o Consumidor Tipo 2, ou seja, seu consumo é maior no período fora de ponta, pois é em horário comercial que os vários centros de estudo estão em pleno funcionamento. A Fig. 2 e a Fig. 3 mostram esse comportamento no ano de 2017:

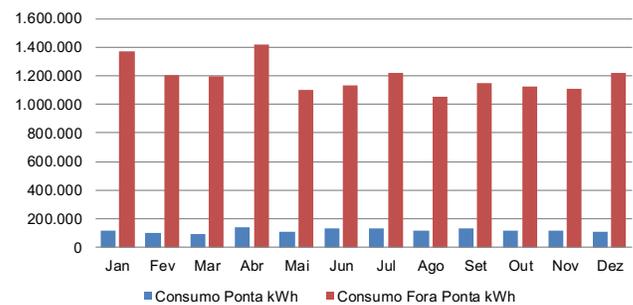


Fig. 2. Consumo 2017 na UC Camobi em kWh

Isso refletiu nos seguintes valores gastos:

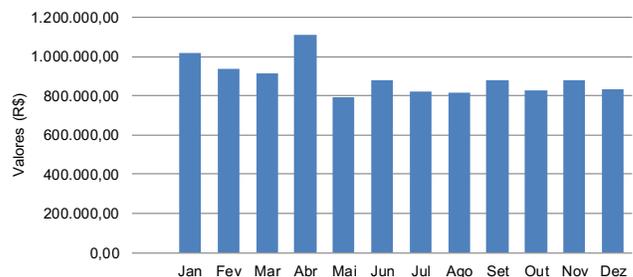


Fig. 3. Valores em R\$ em 2017 – UC Camobi

Ora, no primeiro trabalho apresentado na CBQEE 2017, os esforços eram colocar essa UC no Grupo 1 dos Clientes Livres. Para isso, considerando que a UC Camobi entrou em operação antes de 07 de julho de 1995, era necessário elevar a tensão para 69 kV no mínimo (Subgrupo A3) para esse feito. Só após poderia ser feito algumas simulações. A Tabela I mostra a cotação para uma subestação de 69 kV com dois transformadores de 7,5 MVA:

TABELA I. ORÇAMENTO ESTIMATIVO – SUBESTAÇÃO DA UFSM – FLUENGE ENGENHARIA.

Item	Descrição	Valor (R\$)
1	Materiais /Equipamentos	3.500.000,00
2	Montagem	2.100.000,00
3	Projeto executivo	270.000,00
4	Comissionamento	180.000,00
5	Total	6.050.000,00

Por questões financeiras e de celeridade no processo de migração do ACR para o ACL, a solução mais atrativa foi somar as cargas contratadas de todas as UC's com tensão acima de 2,3 kV (Subgrupo A) e, dando igual ou maior que 500 kW, enquadrar esses Consumidores como Grupo 2 – Clientes Especiais. Somente a UC Camobi já preenche os requisitos, tendo uma demanda de 3 MW e tensão de 13,8 kV.

Em contato com a CPFL Comercializadora, tendo a mesma nossos dados de consumo de 2017, foram cotadas 4 possibilidades, com contratos que durassem até 2019, 2020, 2021 e 2022. Quanto maior fosse a duração do contrato, mais barato ficavam os gastos mensais. A Tabela II faz uma comparação entre as cotações recebidas, onde os valores representam quanto se pagaria por mês:

TABELA II. COMPARAÇÃO ENTRE SIMULAÇÕES ACR X ACL.

	Gasto Médio Mensal ACR e ACL (R\$)	Diferença (R\$)	Percentual (%)
ACR	833.576,57		
ACL 2019	739.550,33	94.026,24	11,28
ACL 2020	679.192,20	154.384,37	18,52
ACL 2021	650.899,33	182.677,24	21,91
ACL 2022	635.809,80	197.766,77	23,73

Outra forma de considerar a possibilidade de migração seria fazer as diversas etapas sem ajuda de uma Comercializadora e analisar se essa maneira é rentável. Isso implicaria em se cadastrar na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. (CCEE) por conta própria. Os passos são bem explicados para esse fim [7] embora exaustivos e requerem total dedicação por parte de um servidor, com a abertura de conta específica para esse fim e uma gama de documentos que deverão ser analisados pela CCEE para gerar um cadastro. A medição deverá ser alterada pela

Concessionária para que a CCEE tenha acesso aos dados diários da medição. Tarefas essas que a Comercializadora daria respaldo. Só para se ter uma noção dos passos para estar cadastrado na CCEE, segue a Fig. 4:

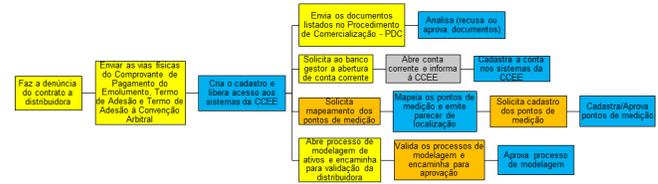


Fig. 4. Fluxograma para ingresso na CCEE

Onde as tarefas em amarelo são do pretendente, as azuis da CCEE, em laranja da distribuidora e em cinza do banco.

Pois bem, o que se fez aqui em diante foi analisar as simulações recebidas da Comercializadora incluindo agora no raciocínio os gastos até a instituição estar no ACL (enquanto o processo de migração ocorre, continua-se pagando a fatura de energia no ACR). Primeiramente foi apresentado um fluxo de caixa mantendo-se no ACR por quase cinco anos, com valores futuros estimados considerando um índice de 0,36% ao mês, baseado em um valor equivalente mensal de um IPCA acumulado de 2017. Vide Fig. 5:

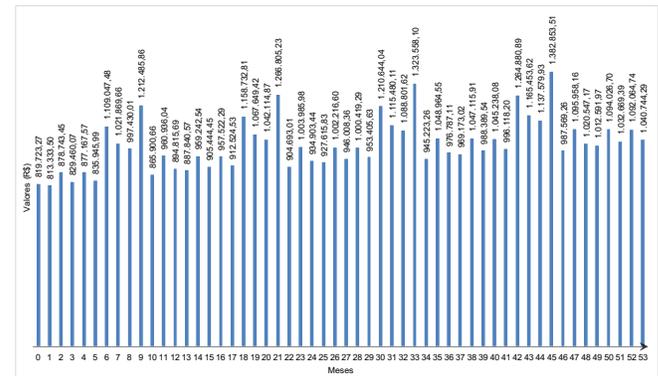


Fig. 5. Valores normalizados no ACR

Onde o tempo 0 é julho de 2018 e o tempo 53 é dezembro de 2022. Após foram feitas diversas comparações tais como (ACR x ACL 2019, ACR x ACL 2020, ACR x ACL 2021 e ACR x ACL 2022) através dos respectivos tempos, considerando o índice IPCA acumulado de 2017 para aplicar conhecimentos de Engenharia Econômica, para calcular o Valor Presente Líquido (VPL) usando (1):

$$P = F / (1 + i)^n \tag{1}$$

Notando que em todos os fluxos do ACL agora estavam considerando todos os gastos de adequação, ACR temporário, espera do tempo de adesão, e finalmente as mensalidades fixas. Á título de compreensão as Fig. 6, 7 e 8 mostram os comparativos entre ACR e ACL 2022 que, como já era de se esperar, tinha a melhor rentabilidade:

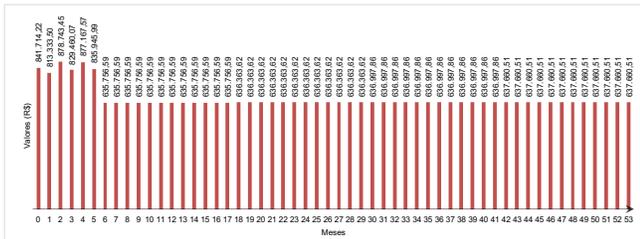


Fig. 6. Simulação com comercializadora até 2022

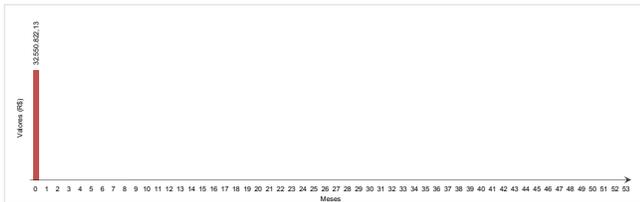


Fig. 7. Valor Presente Líquido (VPL) com comercializadora até 2022



Fig. 8. Comparativo VPL cativo x VPL 2022

O que levou, a evidenciar que um gasto no ACL até 2022 representaria até 65% do valor que seria pago no ACR no mesmo período.

Tendo essa a simulação mais rentável, houve a substituição da parcela que seria para a Comercializadora e colocado em seu lugar o valor a ser pago para um servidor, conforme as Fig. 9 e 10:

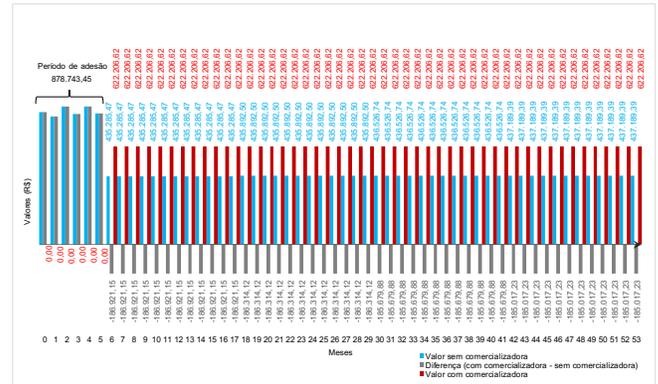


Fig. 9. Fluxograma com e sem comercializadora

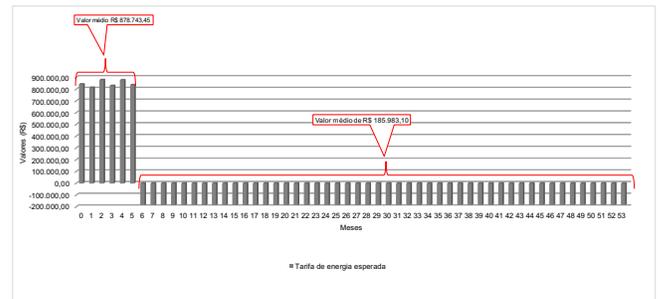


Fig. 10. Tarifa de Energia (TE) atrativa

Onde em cinza é a diferença entre Comercializadora e sem Comercializadora, ou seja, o teto máximo que se deve buscar em um leilão por uma Tarifa de Energia (TE). Resulta então que qualquer valor abaixo de R\$ 185.000,00 mensais já justifica pagar um servidor para essa tarefa específica.

V. ORÇAMENTO E MÁQUINA ADMINISTRATIVA

Na Administração Pública há leis com prazos bem determinados para garantir que os recursos sejam usados da melhor maneira possível. Termos como balizadores desse assunto a Lei da Responsabilidade Fiscal (LRF), o Plano Plurianual (PPA), a Lei das Diretrizes Orçamentárias (LDO) e Lei Orçamentária Anual (LOA). Elas fazem parte do cotidiano da Administração para o orçamento dos gastos públicos. De uma maneira prática, a LOA é o planejamento operacional, onde o governo faz a previsão da arrecadação das receitas, o PPA é um planejamento estratégico e a LDO é a guia do orçamento anual. A Fig. 11 mostra as datas limites de envio e aprovação por parte do Executivo e do Legislativo para essas leis. Uma visão sobre Orçamento Público pode ser exaustivamente detalhada no site do tesouro nacional

chamado manual SIAFI (Sistema Integrado de Administração Financeira do Governo Federal) [8].

janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro
LDO (EXECUTIVO → LEGISLATIVO)											
LDO (LEGISLATIVO → EXECUTIVO)											
PPA (EXECUTIVO → LEGISLATIVO)											
PPA (LEGISLATIVO → EXECUTIVO)											
LOA (EXECUTIVO → CONGRESSO NACIONAL)											
LOA (CONGRESSO NACIONAL → EXECUTIVO)											

Fig. 11. Cronograma da Lei da Responsabilidade Fiscal (LRF)

Como os recursos já são direcionados, isso impacta órgãos públicos na participação de um leilão, onde valores são bem variáveis.

Da mesma maneira, as atividades internas de um órgão público, desde o recebimento da fatura de energia até o efetivo pagamento da mesma, são bem segmentadas em vários setores. Isso vai de encontro com a celeridade que o mercado livre exige. Como exemplo prático aqui estão descritos os passos internos para pagamento de uma fatura de energia dentro da UFSM, havendo similaridade com os demais órgãos públicos:

- Necessidade de uma rubrica, que em linguagem contábil é uma conta. Na esfera pública, cada conta tem um valor orçado para uma atividade e não é lícito usar o valor de uma rubrica para outra atividade. Valor não usado de uma determinada rubrica retorna aos cofres do governo no final do exercício.

- Ordem de empenho. É o ato emanado de autoridade competente [...] e é vedada a realização de despesas sem prévio empenho [9]. O empenho que paga a energia elétrica é classificado como empenho por estimativa, que são despesas com valores imprevisíveis;

- Recebimento da fatura e assinatura de um Engenheiro Eletricista, Servidor Público Federal, certificando-a;

- Pró-Reitoria de Infraestrutura aciona a gestora 153638 – Encargos Gerais dentro do programa Sistema Integrado de Ensino (SIE-UFSM). Isso gera um Empenho SIAFI para o Contrato da Unidade Consumidora da Fatura de Energia;

- Recebimento do processo pelo Departamento de Contabilidade e Finanças (DCF), passando internamente pela Seção de Protocolo e Arquivo, Divisão Financeira e Seção de Processamento de Dados;

- Assinatura do Gestor Financeiro;
- Assinatura do Ordenador de Despesas;
- Divisão de Contabilidade verifica as conformidades;
- Pagamento da Fatura;
- Arquivamento de toda a documentação na Seção de Patrimônio e Arquivo [10].

Todo esse processo acarreta atrasos, gerando multas. O vencimento de uma fatura é em torno de 28 dias após o recebimento e todo o processo descrito oscila em 27 dias. No entanto já estão sendo feitas mudanças nas datas de vencimento para evitar tais multas. A intenção aqui foi mostrar que pagamentos em órgãos públicos requerem diversas etapas

VI. DEMAIS ÓRGÃOS NACIONAIS

Pesquisar o que as demais instituições de ensino bem como os demais órgão públicos estão fazendo a respeito acrescenta um cenário geral [...]. Ora, das 63 universidades federais, nenhuma delas faz parte da CCEE, requisito básico para ser cliente livre ou especial. Logo uma portabilidade concreta por parte da UFSM representaria algo pioneiro nesse campo de estudo

Ampliando a pesquisa nessa parte, foram vistos todos os órgãos e empresas cadastradas na CCEE, nome a nome, com respectiva consulta de seus CNPJ no site da Receita Federal para verificação da natureza da Pessoa Jurídica. Nenhuma autarquia, empresa pública ou de economia mista estava entre os consumidores livres.

No rol do cliente especiais (Grupo 2) foi encontrada apenas uma empresa de economia mista: a Centrais de Abastecimento de Minas Gerais S/A (CEASAMINAS) e nove instituições de ensino, embora nenhuma pública, mas que evidencia o fato que instituições de ensino já exploram o ACL. A Tabela III mostra essas instituições.

TABELA III. INSTITUIÇÕES DE ENSINO PRIVADAS COMO CLIENTES ESPECIAIS.

Nome	CNPJ
CESUMAR – Centro de Ensino Superior de Maringá Ltda	79.265.617/0001-99
UBEE – União Brasileira de Educação	17.200.684/0001-78
UNAMA – União de Ensino Superior do Pará	15.752.686/0001-44
UNIRON – União das Escolas Superiores de Rondônia LTDA	03.327.149/0001-78
UNIFRA – Soc. Carit. e Lit. São Francisco	95.606.380/0001-19
UNIFORTE AC – União Educacional do Norte	04.515.940/0001-74
UNISC – Associação Antônio Vieira	95.959.006/0008-85
UNIVALI – Fundação Universidade do Vale do Itajaí	84.307.974/0001-42
UNIVATES – Fundação Vale do Taquari de Educação e Desenvolvimento Social	04.008.342/0001-09

VII. CENÁRIO INTERNACIONAL

A exploração de um mercado livre de energia [...] é algo que também faz parte do cenário internacional. Segundo a CCEE, mais de 100 países promoveram a reestruturação com desverticalização, privatização e incentivos à competição. A reestruturação mencionada se faz sentir em todos os continentes. Na América Latina [...] temos o Chile que, desde 1982, modificou sua forma de conduta com a energia, seguidas pela Colômbia, Argentina e o México. Na Europa países tais como Espanha, Alemanha, Itália, Holanda, Portugal, entre outros, já tem incentivos para a desverticalização. Na Oceania os países nessa situação são a Austrália e a Nova Zelândia. Na Ásia, Japão, China e Coreia. Já na América do Norte, os Estados Unidos e o Canadá representam essa irreversível situação.

Cada mercado pode optar por uma maneira de formar seu preço. Dessa forma há o preço uniforme (também conhecido por preço marginal), onde cada participante do leilão, indiferentemente se é comprador ou vendedor, recebe o mesmo preço pela energia. Há o modelo discriminatório (ex. Reino Unido), onde o vendedor será remunerado pelo preço que declarou na sua oferta de venda. Há o preço por

região, da mesma forma que no Brasil, e o preço por barra, comum no nordeste dos EUA.

De uma forma bem abrangente, no Mercado Europeu, mais precisamente Noruega, Suécia, Dinamarca e Finlândia, todos os clientes são livres. Não há exigências técnicas bastando ter poder de barganha. A região tem como Trader (similar ao nosso Comercializador de Energia) a Nord Pool que, além de garantir a existência de órgãos públicos livres, deu o contato de dois corretores de energia para maiores detalhes: a Marked Skraft e a Kinect Energy.

No Mercado Norte Americano se destacam os Traders PJM, Califórnia e New England. Desses a PJM atua na região nordeste e tem órgãos públicos como clientes especiais e livres. Por questões de segurança, a empresa não forneceu nomes para exemplificar. O preço nessa região é o Preço Marginal Locacional (LPM), que representa o valor da energia em local e momento preciso.

No Mercado Australiano, o país é dividido entre a Western Australian Wholesale Market (WAWM) e a National Electricity Market (NEM). Todos os clientes são livres embora não foram obtidos exemplos de órgãos públicos para exemplificação. As Tabelas seguintes comparam os diversos mercados de energia:

TABELA IV. COMPARAÇÕES ENTRE MERCADOS - PREÇOS.

Mercado	Preço por Oferta	Preço por Modelo	Preço por Região	Preço por Barra	Resposta da Demanda
Brasil		X	X		
Nord Pool	X		X		X
PJM	X			X	X
WAWM	X		X		X
NEM	X		X		X

TABELA V. COMPARAÇÕES ENTRE MERCADOS – TIPOS DE ATUAÇÃO.

Mercado	Mercado Spot	Mercado Real-Time	Contratos Bilaterais	Reserva de Capacidade	Resposta Serviço Ancilares
Brasil	X		X		X
Nord Pool	X	X	X	X	X
PJM	X	X	X	X	X
WAWM	X	X	X	X	X
NEM	X	X			X

TABELA VI. COMPARAÇÕES ENTRE MERCADOS – PARTICULARIDADES.

Mercado	Direitos de Transmissão	Contratos Futuros	Diversidade de Instrumentos Financeiros
Brasil		X	
Nord Pool		X	X
PJM	X	X	X
WAWM		X	X
NEM		X	X

VIII. OBSERVAÇÕES FINAIS

O trabalho aqui apresentado tornou clara a economia em migrar para o Ambiente de Contratação Livre. Além do mais, surgem novas normas que, gradativamente, vão amenizando as exigências técnicas para a adesão. Tais fatores favorecem o aumento na gama de consumidores que poderão se tornar livres. Ora, se no ambiente público há a exigência de usar os recursos de forma consciente, impostos inclusive por portarias e normas internas, é contraditório que os órgãos públicos não explorem efetivamente essa possibilidade.

As simulações mostraram, somente no nosso estudo de caso, que a Universidade Federal de Santa Maria poderia economizar até 23,72%, considerando o auxílio de um Comercializador. Já considerando flutuações de inflação e fluxo temporal a economia chegou a 34,81% do valor do Ambiente de Contratação Regulada.

Quanto a saber se a melhor opção é com ou sem Comercializadora é certo afirmar que essa é a melhor opção desde que alguém execute apenas essa função nas Instituições Públicas, pela complexidade dos detalhes, documentos e valores envolvidos

O cenário internacional já está à frente do brasileiro. Como foi descrito, o Ambiente de Contratação Livre é uma realidade em vários países e, em alguns, simplesmente qualquer cliente é considerado livre. Desse modo o que se conclui taxativamente é que é necessário o interesse do Governo em ser enfático na exigência de usar o ACL como ferramenta de praxe para todos os órgãos públicos, criando uma política específica que contribua para a celeridade que essa forma de comércio de energia impõe. Tendo rapidez

para atuar, fica a sugestão da intervenção de algum Ministério, tal como o Ministério da Educação ou do Planejamento em um grande registro de preço, que através do certame escolheria a melhor opção de preço à nível nacional, ou seja, a melhor Tarifa e Energia (TE) e as diversas Instituições espalhadas pelo território nacional pagariam o Custo pelo Fio (TUSD ou TUST, conforme o caso), nas suas regiões. Estratégia de mercado já explorada até mesmo por hotéis tais como a Rede Deville que, conforme mostrou a mídia do setor elétrico, em 180 dias migrou para o ACL com investimentos de R\$ 470.000,00 e atualmente já teve o retorno em economia, possibilitou o desligamento de geradores e a redução na emissão de gases.

IX. REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. **Lei n. 9074/95**, de 07 de julho de 1995. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. Presidência da República Casa Civil, Brasília, DF, 7 jul.1995. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9074cons.htm> Acesso em: 16 mar. 2017.
- [2] TRINDADE, Humberto. **Viabilidade do Ambiente de Contratação Livre para Órgãos Públicos**. 2019. Dissertação, UFSM, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2019.
- [3] BRASIL. **Projeto de Lei PL 1917/2015**, de 15 de junho 2015. Dispõe sobre a portabilidade da conta de luz, as concessões de geração de energia elétrica, altera as Leis n. 12.783/2013, 10.848/2004, 9.648/1998, 9.478/1997, 9.427/1997, 9.427/1996 e dá outras providências. Câmara dos Deputados, Brasília, DF, 15 jun.2015. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=1307190>> Acesso em: 16 mar. 2017.
- [4] AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Estrutura tarifária para o serviço de distribuição elétrica**. Brasília, DF, p.4, 16 dez.2010. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20\(2\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20(2).pdf)> Acesso em: 16 mar. 2017.
- [5] GOMES, G. J. **Relações Contratuais de Comercialização na Regulação Jurídica do Mercado Brasileiro de Energia Elétrica**. Universidade Federal do Parná. Curitiba, p. 267. 2013. Dissertação de Mestrado.
- [6] AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 611/2014, de 8 de abril de 2014**. Estabelece critério e condições para o registro de contratos de compra e venda de energia elétrica e de cessão de montantes de energia elétrica e de potência, firmadas no Ambiente de Contratação Livre – ACL e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2014611.pdf>> Acesso em: 16 mar. 2017.
- [7] CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. CCEE, 2018. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/>>. Acesso em: 10 Abril 2018.
- [8] TESOURO NACIONAL. Tesouro Nacional. **Manual SIAFI**, 2007. Disponível em: <<http://manualsiafi.tesouro.fazenda.gov.br/020000/020100/>>. Acesso em: 27 Maio 2018.
- [9] PRESIDENCIA DA REPÚBLICA. Planalto. **Lei 4320**, 1964. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/I4320.htm> Acesso em 27 Maio 2018.
- [10] TRINDADE, Humberto. **Viabilidade do Ambiente de Contratação Livre para Órgãos Públicos**. 2019. Dissertação, UFSM, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2019.

Influence Of Courtyard Design On The Effectiveness Of A Shading Device

Victoria Cabeza, Carmen Marín, Carlos Gómez

Victoria Patricia Lopez-Cabeza
Departamento de Construcciones
Arquitectónicas I.

Escuela Técnica Superior de
Arquitectura. University of Seville.

Seville, Spain.

vlopez7@us.es

Carmen Galán-Marín
Departamento de Construcciones
Arquitectónicas I.

Escuela Técnica Superior de
Arquitectura. University of Seville.

Seville, Spain.

cgalan@us.es

Carlos Rivera-Gómez
Departamento de Construcciones
Arquitectónicas I.

Escuela Técnica Superior de
Arquitectura. University of Seville.

Seville, Spain.

crivera@us.es

Abstract— The design of more sustainable buildings is one of the main concerns of our society given the necessity to reduce energy consumption to reduce climate change. Incorporate passive strategies in buildings should be the first step because of its zero energy consumption. One of the most used passive strategies in the Mediterranean Climate is the use of inner courtyards as a tempering element of buildings. The performance of these courtyards has been traditionally improved by installing shading devices such as canvas, in courtyards.

The aim of this study is to quantify the effect of the shading element installed in two courtyards with different geometries in the south of Spain by monitoring the temperature in the courtyards and the outdoor during hot and extremely hot days.

The results show that the installation of the shading element improves the performance of the courtyard much more than the different geometry. Without the shading device, the temperature in the courtyard is three to eight degrees less than in the outdoors. However, when the element is installed, the temperature in the courtyard reaches twelve degrees less than the outdoor temperature in both courtyards, which shows that the geometry is not an important factor that would reduce the performance of the shading device once installed.

Keywords— courtyards; monitoring; Mediterranean climate; thermal comfort, shading.

P. INTRODUCTION

Climate change is one of the main challenges we face nowadays, one of its consequences being the increase in the temperature of the planet [1]. One of the more recent examples is the record temperatures that were suffered in central Europe during the heat wave of June 2018 [2]. Another effect is the escalation in the Urban Island effect in cities, which detracts the thermal comfort of people and increases the energy consumption of buildings to meet their needs [3]. CO₂ emissions are one of the main causes of climate change [4] and buildings are responsible for 40 % of these CO₂ emissions in Europe [1]. The reduction of energy consumption in buildings is, therefore, a necessity in order to achieve the

Sustainable Development Objectives and a habitable future world.

Traditional architecture typologies include many passive strategies to condition buildings. One of the most used in the Mediterranean climate is the use of the courtyard, elements that temper the outdoor climate by means of the thermodynamic effects that occur inside them. Many studies have proven the benefits of this strategy in the hot and dry climate of Spain [5]. Other authors describe the benefit of the courtyard in other locations and climates [6], [7]. Many factors influence the performance of the courtyards, not only their geometry but also other elements that can be modified such as the presence of vegetation, water, shading devices or the albedo of the surfaces [8], [9]. It is important to clarify the influence of each of these factors in order to understand how the courtyard works and being able to improve or design the best possible buildings. A well-designed courtyard would help to reduce the heat island effect in cities thus it will increase outdoor thermal comfort, because of the microclimate that is generated within. They will also help to reduce the energy consumption of buildings because of the reduction of heat gain through the walls of the courtyards. Finally, the performance of conditioning systems would be also increased if the air at a lower temperature of the courtyards were used to release heat.

This study focuses on the analysis of the performance of two courtyards with different geometries where a shading device has been installed. The geometry of the courtyard is described by means of the aspect ratio, which is the relation between the height of the courtyard and its width as shown in (1):

$$AR = h_{max}/W \quad (1)$$

The aim of the study is to determine if the geometry plays an important role when a shading device is installed and measure the effectiveness of this strategy in the hot and dry climate of the south of Spain. The variable analyzed to compare the effectiveness of the

courtyard is the thermal gap at each hour, which is defined as the difference between the outdoor temperature and the courtyard's temperature as described in (2):

$$\text{Thermal gap} = T_{\text{outdoor}} - T_{\text{courtyard}} \quad (2)$$

The higher the thermal gap comparing the courtyard with and without the shading device, the more effective the strategy is.

4. MATERIALS AND METHODS

Two case studies have been selected to be monitored with and without a shading device in the Mediterranean climate, in the cities of Córdoba and Seville. These cities are characterized by the highest summer severity possible in Spain as per the climates classification established in the Spanish Building Code [10]. According to Köppen climate classification [11] it is located in an area Csa which involves hot dry summers with mean temperatures of 28°C and temperate winters in which the mean temperature is above 9°C. Among all the days monitored, two days for each courtyard configuration have been selected, one with warm temperatures (35°C < T < 40°C) and another with extremely hot temperatures (>40°C).



Fig. 1. Image of Courtyard A in Córdoba.

a. Courtyard description

The two courtyards have been selected to analyze the influence of the shading device in different geometries, but the same climate and similar orientation.

- Courtyard A (Fig. 1): This courtyard's floor plan is 4.3 x 4.0 m and it has a height of 6.3. This means an Aspect Ratio of 1.57 and 1.46 respectively. It belongs to a refurbished traditional patio-house in Córdoba.

- Courtyard B (Fig. 2): This second courtyard belongs to an educational building in Seville. It has a floor plan of 6.9 x 5.2 m and a height of 5 m, which means an Aspect Ratio of 0.72 and 0.96, which is half of the previous courtyard, in order to analyze the influence of the courtyards' depth.

Both courtyards have similar walls finished, white color mortar coating and some windows. Both have been monitored with and without a shading device. This consists of a black canvas mesh installed in the top of the courtyard, leaving some separation with the walls to allow convection flows. The fabric of the canvas cover is black polyethylene of 60-70% UV filter and 70 g/m² density. It is expected to have an important effect on the temperature of the courtyard because of the filtration of the solar radiation and thus, the reduction of surfaces temperature.

b. Monitoring

The monitoring campaigns have been carried out during the warmest months of the Mediterranean climate, July, August, and September. In order to quantify the influence of the shading element in the temperature of the courtyard for different outdoor temperature ranges, one representative day of warm temperatures (between 35 °C and 40°C) and one day of extreme temperatures (more than 40°C) have been selected for each courtyard and each situation, with and without shading device installed.



Fig. 2. Image of Courtyard B in Seville.

The monitored data has been collected using a weather station model PCE-FWS 20 that provides outdoor temperature, humidity and wind speed. It was located on the roof of each building. For the temperature in the courtyard, sensors TESTO 174 T were used, located at a livable height (1.5 m) and protected from

solar radiation with shields. Table 1 shows the accuracy and resolution of the measuring devices described.

TABLE 1 TECHNICAL DATA OF THE INSTRUMENTS

Sensor	Variable	Accuracy	Range	Resolution
TESTO 174T	T ^a	±0.5 °C	-20 a +70 °C	0.1 °C
PCE-FWS 20	T ^a	±1 °C	-40 a +65 °C	0.1°C
	Hr	±5%	12 a 99 %	1%
	Wind	±1 m/s	0 a 180 km/h	-

r. RESULTS

a. Unshaded monitoring

Fig. 3 and Fig. 4 show the monitored results in both courtyards when there was no shading device installed. Each graph displays a representative day for a warm temperature (35°C<T<40°C) and an extremely hot

temperature (>40°C). Despite the different Aspect Ratio in the courtyard, a very similar performance can be seen. When the temperature is warm in the outdoor, the courtyards' temperature is only a few degrees below (maximum of 3°C), and only in the hottest hours of the day. In both courtyards, a slightly overheating effect occurs during the night, being the courtyards around one or two degrees warmer than the outdoor temperature.

However, when the outdoor temperature rises up to 40°C, the tempering effect of both courtyards is much more important. Both courtyards achieve up to a 6°C difference between the courtyard and outdoor temperature in the hottest hours of the day. In this case, the performance of the Courtyard A is moderately better, which can be explained by its deeper geometry that reduces the solar radiation in the walls of the courtyard.

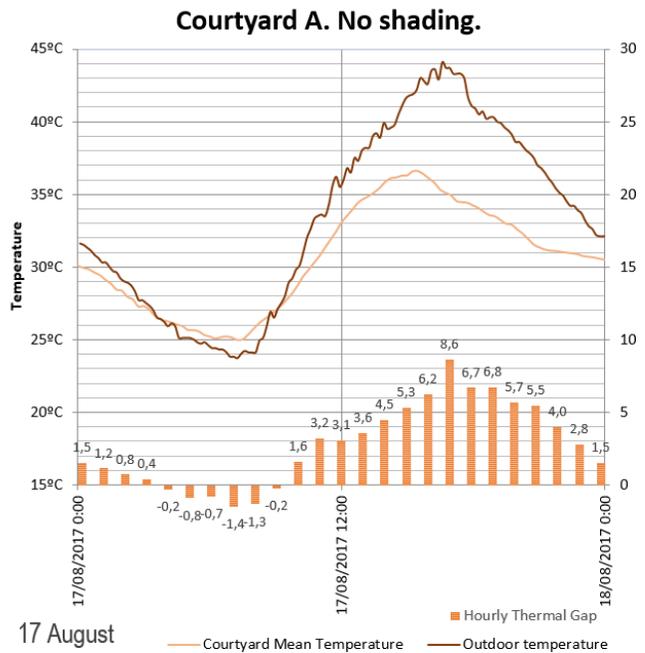
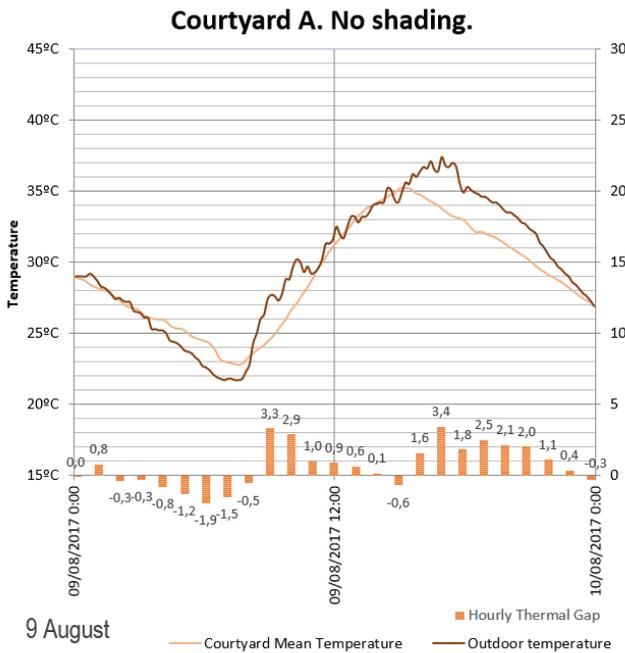


Fig. 3. Outdoor and Courtyard temperature and Thermal Gap in Courtyard A without shading device.

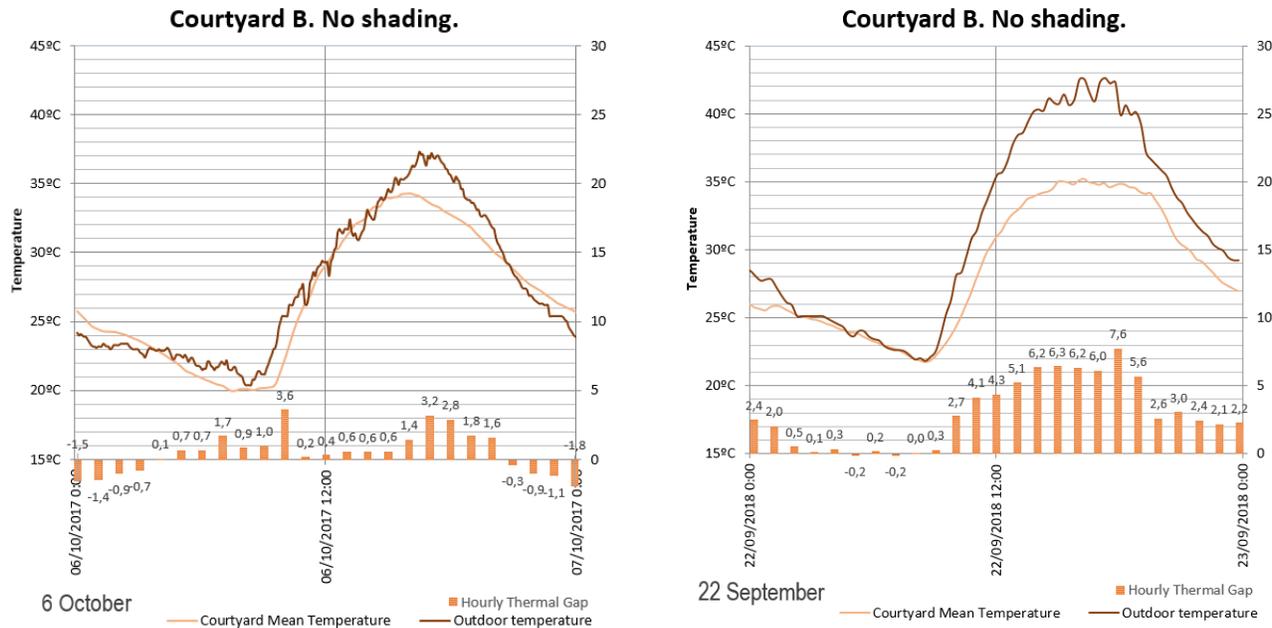


Fig. 4. Outdoor and Courtyard temperature and Thermal Gap in Courtyard B without shading device.

b. Shaded monitoring

This section describes the monitored temperatures in the courtyard when the shading devices were installed. Fig. 5 and Fig. 6 show outdoor temperature and courtyard temperature, as well as the thermal gap each hour for a representative day. It can be noticed that the performance of the courtyard in this cases is much better in all cases, doubling the performance without shading device. When the outdoor temperature is around 35 °C, the courtyards rises up to a 5°C thermal gap in the hottest

hours of the day. However, the effect of the shading device is dramatically important in the cases of temperatures of more than 40°C, when the thermal gap rises more than 12°C in both case studies. Another fact that can be seen in the performance of the courtyards with a shading device is the increase in the overheating of both courtyards during the night. However, this aspect is not detrimental and it could be avoided removing the shading device during the night.

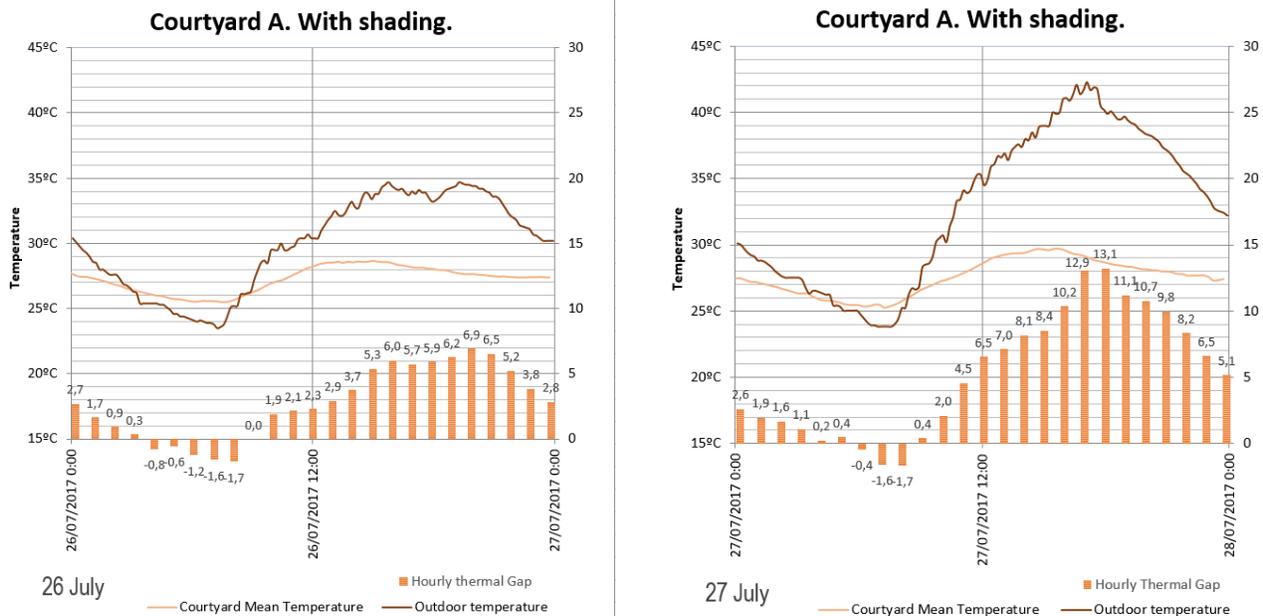


Fig. 5. Outdoor and Courtyard temperature and Thermal Gap in Courtyard A with shading device.

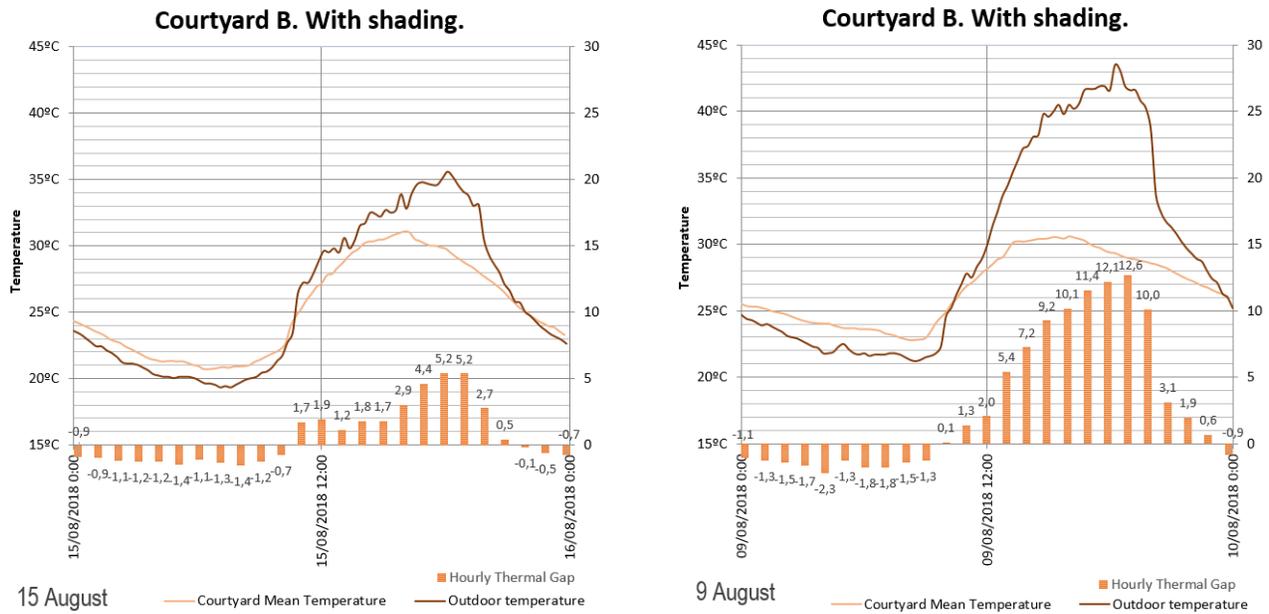


Fig. 6. Outdoor and Courtyard temperature and Thermal Gap in Courtyard B with shading device.

DISCUSSION

Table 2 shows the maximum thermal gap achieved in each courtyard in each one of the cases described before. It is possible to see almost the double thermal gap between each courtyard with a shading device and no shading device. Courtyard A performs slightly better than B, which makes sense being a deeper courtyard, with an aspect ratio of 1.5, twice the aspect ratio of courtyard B. This means less solar radiation in its surfaces and less air renovation from the outside because of the vortex that is generated on top of this kind of courtyards, keeping a lower temperature in the lower layers of the courtyard. However, the geometry has clearly less influence than the presence of the shading device in the courtyard.

TABLE 2. MAXIMUM THERMAL GAP IN THE COURTYARDS.

	Maximum Thermal Gap (°C)			
	No shading		With Shading	
	35°C-40°C	>40°C	35°C-40°C	>40°C
Courtyard A	3.4	8.6	6.9	13.1
Courtyard B	3.2	7.6	5.2	12.6

CONCLUSIONS

The results obtained in this study prove the huge improvement of the courtyard performance when a shading device is installed. Furthermore, the higher the outdoor temperature, the higher the thermal gap between outdoor and courtyard temperature, which means that the strategy of the shading device will be effective, even in the future of climate change that we are facing. What is more interesting is the fact that the different geometry does not have a big influence in the final performance of the shaded courtyards, which means that any existing courtyard could benefit from

the installation of this devices, being an excellent strategy in the renovation of buildings. This reduction of up to 12°C in the temperature in the courtyard means that this air could be used as the source of ventilation air in the building implying very low energy required to condition it, reducing significantly the thermal load of the building as a very low price.

However, the monitoring campaigns of this study is very limited and more examples should be monitored in order to reinforce these conclusions. Further studies should also analyze how to predict the effectiveness of the shading element in simulations, in order to be able to measure the benefits and quantify the energy consumption reduction in the buildings and the increased thermal comfort in courtyards. The existing software to simulate outdoor microclimates, such as ENVI-met, are not able to accurately predict this measured reduction of temperature in courtyards [12], missing the opportunity to implement this benefit in the current regulation and certification procedures of buildings.

ACKNOWLEDGMENT

This work has been supported by the National Government of Spain Research Project MTM2015-64577-C2-2-R, Ministerio de Economía y Competitividad. The authors also want to thank AEMET (Agencia Estatal de Meteorología - State Meteorological Agency, Spanish Government) for the data supplied.

REFERENCES

[1] R. K. P. and L. A. M. (eds.). [Core Writing Team, “IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.”

- [2] “Record-breaking temperatures for June | Copernicus.”
- [3] M. Santamouris *et al.*, “On the impact of urban climate on the energy consumption of building,” *Sol. Energy*, vol. 70, no. 3, pp. 201–216, 2001.
- [4] H. D. Matthews, N. P. Gillett, P. A. Stott, and K. Zickfeld, “The proportionality of global warming to cumulative carbon emissions,” *Nature*, vol. 459, p. 829, Jun. 2009.
- [5] J. M. Rojas, C. Galán-Marín, and E. D. Fernández-Nieto, “Parametric study of thermodynamics in the mediterranean courtyard as a tool for the design of eco-efficient buildings,” *Energies*, vol. 5, no. 7, pp. 2381–2403, 2012.
- [6] T. Kubota, M. A. Zakaria, S. Abe, and D. H. C. Toe, “Thermal functions of internal courtyards in traditional Chinese shophouses in the hot-humid climate of Malaysia,” *Build. Environ.*, vol. 112, pp. 115–131, 2017.
- [7] M. Taleghani, M. Tenpierik, and A. van den Dobbelaar, “Environmental impact of courtyards - A review and comparison of residential courtyard buildings design in different climates,” *J. Green Build.*, vol. 7, no. 2, pp. 113–136, 2012.
- [8] H. A. Abdulkareem, “Thermal Comfort through the Microclimates of the Courtyard. A Critical Review of the Middle-eastern Courtyard House as a Climatic Response,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 216, no. October 2015, pp. 662–674, 2016.
- [9] A. Ghaffarianhoseini, U. Berardi, and A. Ghaffarianhoseini, “Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates,” *Build. Environ.*, vol. 87, pp. 154–168, 2015.
- [10] “CTE. Código técnico de la Edificación. Documento Básico HE Ahorro de energía.” [Online]. Available: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>. [Accessed: 16-Apr-2018].
- [11] M. Kottek, J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel, “World map of the Köppen-Geiger climate classification updated,” *Meteorol. Zeitschrift*, vol. 15, no. 3, pp. 259–263, 2006.
- [12] V. P. López-Cabeza, C. Galán-Marín, C. Rivera-Gómez, and J. Roa-Fernández, “Courtyard microclimate ENVI-met outputs deviation from the experimental data,” *Build. Environ.*, vol. 144, no. August, pp. 129–141, 2018.

Transitional Spaces As Buildings Thermal Regulators. Adaptive Comfort Criteria

Eduardo Mellado, Carmen Marín, Carlos Gómez

Eduardo M. Diz-Mellado
*Departamento de Construcciones
Arquitectónicas I.*

*Escuela Técnica Superior de
Arquitectura. University of Seville.*

Seville, Spain. ediz@us.es

Carmen Galán-Marín
*Departamento de Construcciones
Arquitectónicas I.*

*Escuela Técnica Superior de
Arquitectura. University of Seville.*

Seville, Spain. cgalan@us.es

Carlos Rivera-Gómez
*Departamento de Construcciones
Arquitectónicas I.*

*Escuela Técnica Superior de
Arquitectura. University of Seville.*

Seville, Spain. crivera@us.es

Abstract— Urban Heat Island (UHI) as a combined consequence of global warming and the cities diameter increase, and the buildings dependence on other environmentally damaging factors, continues to be technological challenges today. Especially when considering that thermal discomfort affecting people is a result of these factors.

Different passive strategies related with the buildings and cities architecture design imply energy demand reduction achieving, at the same time, an adequate thermal comfort level of the potential users. Architectural elements such as courtyards become extraordinarily significant as passive cooling systems since, depending on their design and construction characteristics, they can help as buildings and cities thermal regulators, mitigating the UHI effects thanks to a greater porosity of urban built mass.

Adaptive comfort aims to reflect the relationship between the real characteristics measured in the environment and the survey-recorded users' perception. Consequently, this study is carried out considering this factor. The results are catalogued as the user's response through a series of questions. Thermal comfort perception reflects how the outdoor versus courtyard thermal gap allows a faster comfort sensation, with the corresponding energy and economic savings.

The research aims to establish patterns and values of adaptive comfort in transition spaces, reflected in the thermal regulation capacity of these buildings thanks to the morphology of the courtyards, contributing also to possible state strategies for action in favour of reducing the effects of climate change.

Keywords— *climate change; courtyard; adaptive comfort, Urban Heat Island, field survey.*

^a INTRODUCTION

There are different passive strategies in the design of the architecture of the cities that entail a reduction of the energy demand of the buildings, collaborating with the comfort in the users [1]. The spaces of transition between the interior and the exterior of the building,

such as the courtyards, take on great importance as passive cooling systems.

Depending on their design and construction characteristics, they notably help as thermal regulators for buildings and cities by mitigating the heat island effect [2]. The study focuses on the well-being of users during their stay in these spaces. For people, the patio, in addition to an element of habitability, is a space typical of the Mediterranean culture.

This study is carried out taking into account the human perception itself, in such a way that the result is based on the responses of the users themselves. So, to address the problem of adaptive comfort in these buildings spaces, surveys are the main necessary tool. In recent decades, attempts have been made to quantify, by means of user surveys, the relationship between real temperature and thermal perception for indoor environments, mainly work spaces [3, 4].

Regarding the standarization framework the European standard EN 15251: 2008 [5] establishes the results of this relationship, reflecting the acceptable interior temperatures for the design of buildings without mechanical cooling systems.

Another point to consider is that first investigations that have been carried out on adaptive comfort in outdoor spaces are focusing on noticeably open spaces and in connection with the city; fundamentally public spaces such as parks, urban canyons and squares [6]. However, the most lively spaces and in direct contact with the day to day of the users of the buildings are the patios. That is why a study that reflects the direct relationship of the measured physical parameters and the sensation perceived by the users, is fundamental especially in the warm climatic zones like the case of our country.

The majority of existing buildings have been built under regulatory requirements that are very different from the current ones. Therefore, the results of the study, in addition to promoting well-being and savings, may reflect an evolution of adaptive comfort based on the development or perception of people.

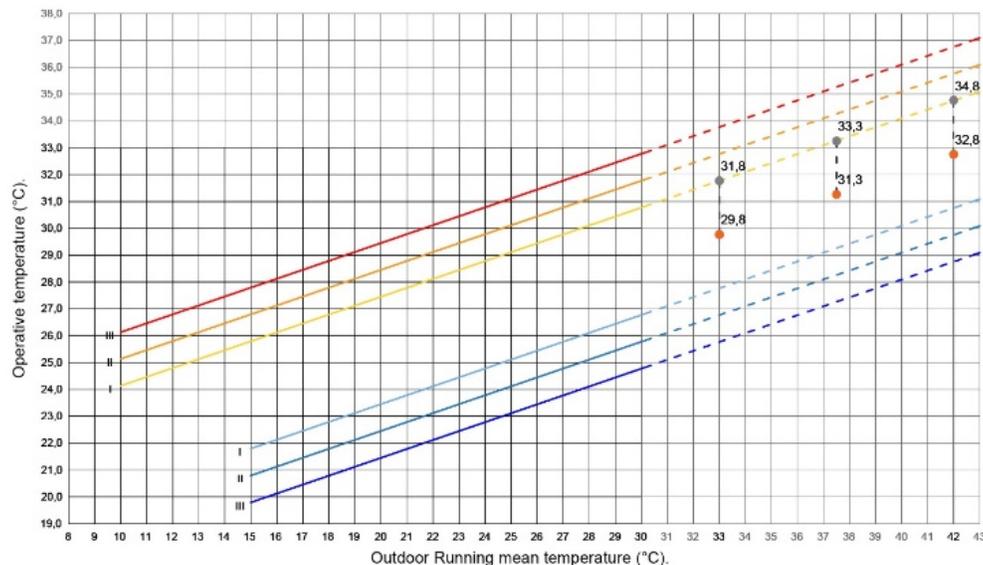
The generation, and recovery in current architecture, of transitional spaces such as the courtyard, characteristic of our geographical and cultural environment [7], is a fundamental bioclimatic strategy. In the warm zones of the planet the patio provides shade; in the cold breaks the continuity of the wind generating microclimates; and in humid climates it favors cross ventilation with an increase in constructive porosity.

The patio is, therefore, an essential space for cities, a fundamental synergy between architecture, culture and sustainability in which it is essential to know the comfort parameters it provides to users.

b. MATERIALS AND METHODS

A significant method for verifying courtyard effectiveness in a global warming environment is to make a comparative analysis of the percentage of the

courtyard's Diurnal Thermal Range (DTR) included within the comfort standards according to different DTR scopes considered. The Diurnal Temperature Range (DTR) is the difference between the maximum and minimum temperatures on a given day ($T_{\max} - T_{\min} = \text{°C}$). Conventional comfort theory relies on a steady state model where the production of heat is equal to the heat lost to the environment, with the aim of maintaining a constant core body temperature of 37°C. According to the Spanish regulation Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) [8], human Thermal Comfort (TC) ranges between 21 - 25°C. Nevertheless, people take action to improve their comfort conditions by modifying their clothing and metabolic rate, or by interacting with the building's adaptive actions. As a result, there are international standards that regulate indoor adaptive comfort [2,3]. However, due to the great complexity of the outdoor environment in terms of variability, both temporally and spatially, as well as the vast array of activities that people engage in, there have been fewer attempts to understand outdoor comfort conditions. In spite of this, studies on outdoor adaptive thermal comfort are becoming more frequent in the specific literature [4-7].



Adaptive Thermal Comfort graph according to the European standard EN 15251-2007 [5] ATC_{mean} and ATC_{max} values for the TRs have been plotted.

Figure 1 shows a graph from European Standard EN 15251-2007 [5] that specifies the indoor environmental parameters which have an impact on the energy performance of buildings. Indoor operating temperature versus mean outdoor running temperature is represented in the graph. This standard refers to indoor environmental input parameters for the design and assessment of buildings' energy performance; therefore,

the graph is calculated for adaptive comfort assessments inside the buildings. Currently, an equivalent standard to evaluate outdoor adaptive comfort is not available. Considering this regulatory deficit and the fact that certain parameters such as wind speed or average resting time vary considerably from the indoor to the outdoor of buildings, it is conceivable to establish the graph's effective operability beyond the 30°C outdoor maximum

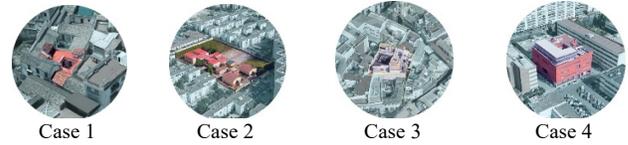
temperature for the outdoor adaptive comfort evaluation. Following these criteria, and in order to exemplify courtyard comfort improvement and stake its claim for adoption by current architecture, in addition to TC values, the mean Adaptive Thermal Comfort (ATC_{mean}) and maximum Adaptive Thermal Comfort (ATC_{max}) values corresponding to the three TR considered in the present study have been plotted on the graph.

The outdoor versus courtyard plotted DTR gap clearly explains actual courtyard effectiveness in terms of thermal tempering. According, a study linking four study cases with different AR and DTR and its relation with the thermal comfort of the users is shown. These courtyards are located in the same climatic zone defined by the CTE, in which the different improvements perceived by the users can be compared according to the geometric characteristics of each courtyard and the external thermal conditions.

a. Cases Study

In this work we selected a range of case studies with a different AR interval. The 4 courtyards that constitute this set of case studies were each monitored for a two-week period in the cities of Seville (Seville, Spain, 37° 22'58 "N 5 ° 58' 23" W, elevation 16m. above sea level) and Cordoba (Cordoba, Spain, 37° 53' 30" N 4° 46' 22" W, elevation 106m. above sea level); all the courtyards were located inside buildings, which were both residential and public. With the aim of reducing the number of variables, courtyards with the same characteristics in terms of albedo and orientation have been selected. These are different building

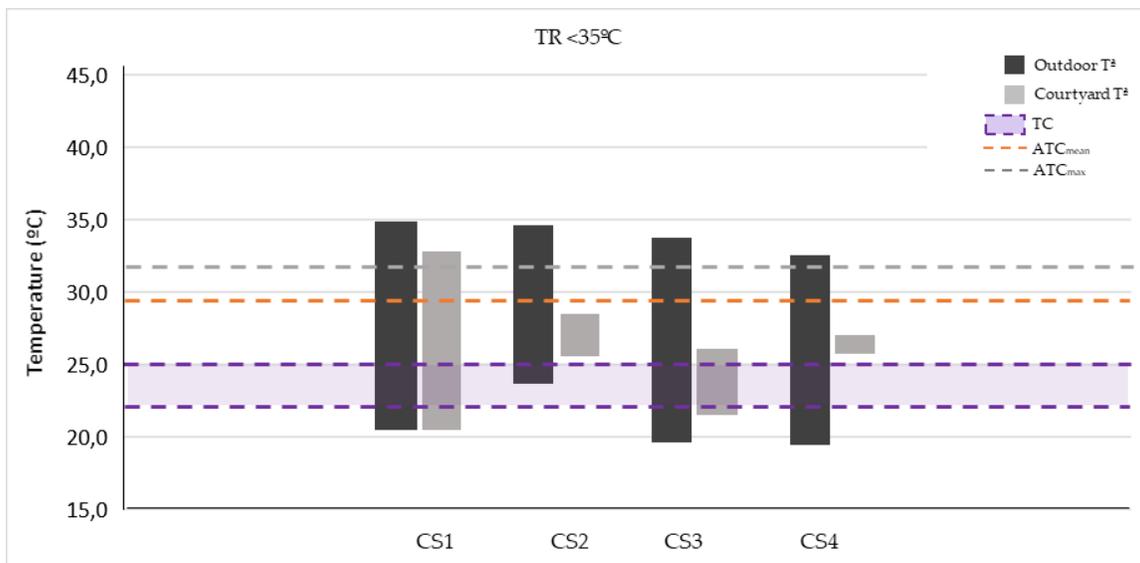
typologies and use, highlighting disparate uses such as residential or teaching.



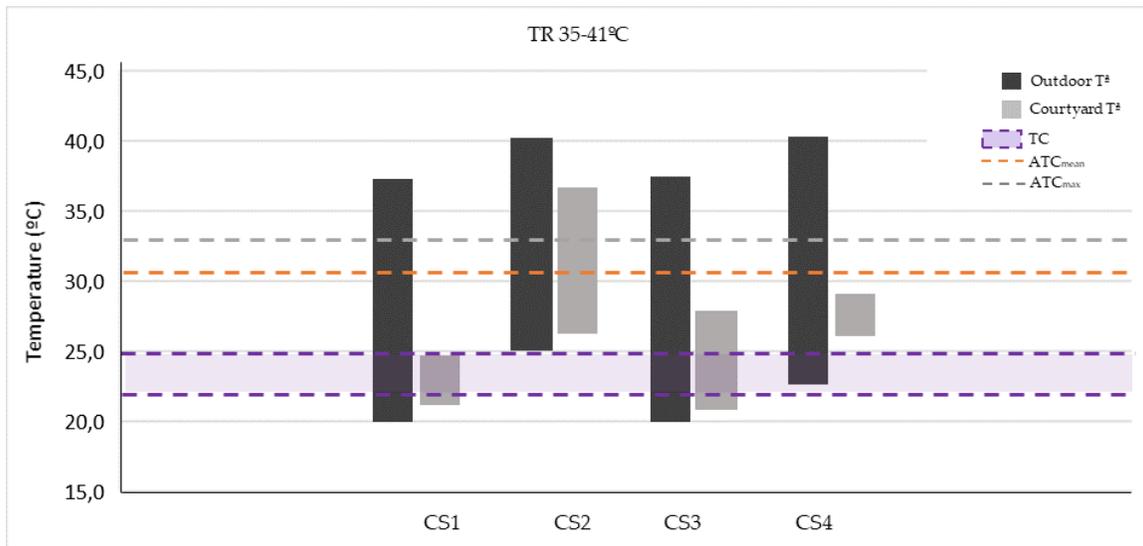
Case Study	City	Climate Zoning (CTE)	Surface (m ²)	Height	AR
CS1	Cordoba	B4	14,6	6,3	1,66
CS2	Seville	B4	39,5	9	0,84
CS3	Seville	B4	6,4	14,2	5,77
CS4	Seville	B4	48,2	14	2,02

°RESULTS

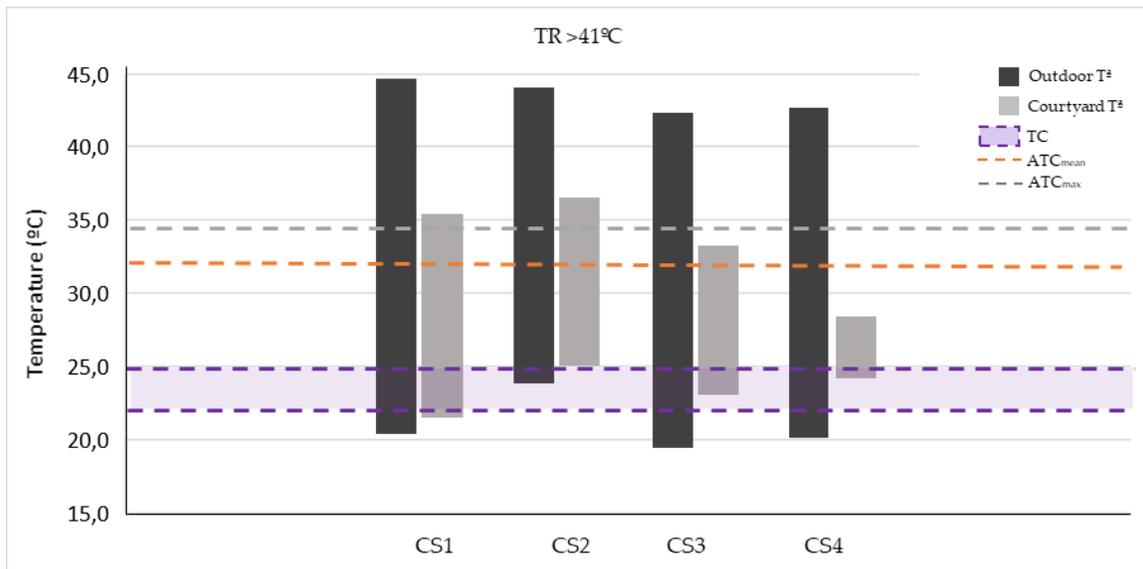
As appreciated in the following figures, the outdoor DTR versus the courtyard DTR for each case study based on different TR studied are shown: TR < 35°C (Figure 2), TR 35-41°C (Figure 3) and TR > 41°C. (Figure 4). For each courtyard, the AR increases from left to right in each graph. The DTR gap between outdoor and courtyard DTRs increases in accordance with the AR value. For all TRs considered, the DTR gap is greater for AR > 3. The graphs also show the Thermal Comfort (TC) ranges according to Spanish regulations [8], and the ATC mean and maximum values according to the adaptive comfort European standard [5].



Outdoor versus courtyard DTR. TR <35°C



Outdoor versus courtyard DTR. TR 35-41°C



Outdoor versus courtyard DTR. TR >41°C

Table I shows the numerical values corresponding to the previous graphs (Figures 2-4). As observed for each case study in the DTR gap versus courtyard AR benchmarking analysis, courtyard thermal tempering performance not only increases according to the AR but also to the MOT. If the courtyard DTR percentage included within the TC range is analysed, it can be observed that courtyard temperature evolution throughout a day cycle is outside the TC standard most of the time, this percentage decreasing with TR intensification.

OUTDOOR VERSUS COURTYARD DTR PERCENTAGES WITHIN TC, ATC_{MEAN} AND ATC_{MAX} .

Case Study	TR < 35°C		
	TC (%)	ATC mean (%)	ATC max (%)
CS1 AR 0-1	13,8	46,9	60,7
	16,1	54,8	71
CS2 AR 1-2	3,6	61,8	80
	0,0	100	100
CS3 AR 2-3	14,1	47,9	62
	43,5	67,4	67,4
CS4 AR >3	15,2	51,5	66,7
	0,0	100,0	100
Case Study	TR 35-41°C		
	TC (%)	ATC mean (%)	ATC max (%)
CS1 AR 0-1	11,5	39,1	50,6
	47,2	47,2	47,2
CS2 AR 1-2	0,0	31,6	44,7
	0,0	34,3	53,3
CS3 AR 2-3	11,4	38,6	50
	28,2	69	97,2
CS4 AR >3	11,3	38,4	49,7
	0,0	100,0	100
Case Study	TR > 41°C		
	TC (%)	ATC mean (%)	ATC max (%)
CS1 AR 0-1	8,2	27,9	36,1
	14,3	48,6	62,9
CS2 AR 1-2	5,9	29,6	39,4
	0,0	41,4	58,6
CS3 AR 2-3	8,7	29,6	38,3
	19,4	66	85,4
CS4 AR >3	8,8	30,1	38,9
	20,5	100,0	100

Conversely if, instead of considering the TC parameters, the reference is taken to be the thermal range determined by the ATC standard for each outdoor TR value, the results are different. As observed in Table I, the DTR percentage for all courtyards within the standard ATC is between 34.3 - 100% for mean ATC, and between 47.2 - 100% for maximum ATC. These percentages are between 48.6 - 100% for mean ATC, and between 58.6 - 100% for maximum ATC in the TR > 41°C.

With regard to the AR, it can also be observed that in the case of AR > 3, the percentage within the standard ATC of the courtyard analysed is 100% for the three TR considered, and both for the mean and the maximum ATC. In the case of AR 2-3, this percentage varies between 66 - 69% for the mean ATC, and between 67.4 - 97.2% for the maximum ATC.

CONCLUSIONS

Furthermore, analyzing the courtyard DTR percentage within the proposed ATC range, it can be verified that for AR > 3 the courtyard is 100% within an adequate thermal comfort zone.

It can also be concluded that in the climates studied, especially in the warmest zones of the interior, deeper courtyards with AR > 3 are appropriate solutions for enhancing thermal performance. The results obtained have demonstrated that the methodological model based, assessment is useful for establishing a courtyard thermal performance comparison. The research has provided a background to support further research and analysis on the impact of courtyard design variants of its performance. The capacity of well-being towards the courtyards users requires, therefore, the study of each one of the factors that intervene in their thermodynamic behavior.

ACKNOWLEDGMENT

This work has been supported by the National Government of Spain Research Project MTM2015-64577-C2-2-R, Ministerio de Economía y Competitividad. The authors also want to thank AEMET (Agencia Estatal de Meteorología - State Meteorological Agency, Spanish Government) for the data supplied.

REFERENCES

- [1] H. A. Abdulkareem, 'Thermal Comfort through the Microclimates of the Courtyard. A Critical Review of the Middle-eastern Courtyard House as a Climatic Response', *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 216, no. October 2015, pp. 662-674, Jan. 2016.
- [2] P. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, L.V. Alexander, S.K. Allen, N.L. Bindoff, F.-M. Bréon, J.A. Church, U. Cubasch, S. Emori, P. Forster, P. Friedlingstein, N. Gillett, J.M. Gregory, D.L. Hartmann, E. Jansen, B. Kirtman, R. Knutti, K. Krishna Kumar, *CLIMATE CHANGE 2013 The Physical Science Basis*.

Summary for Policymakers, Technical Summary and Frequently Asked Questions. 2013.

- [3] L. A. López-Pérez, J. J. Flores-Prieto, and C. Ríos-Rojas, 'Adaptive thermal comfort model for educational buildings in a hot-humid climate', *Build. Environ.*, vol. 150, no. September 2018, pp. 181–194, 2019.
- [4] Z. Wu, N. Li, P. Wargocki, J. Peng, J. Li, and H. Cui, 'Adaptive thermal comfort in naturally ventilated dormitory buildings in Changsha, China', *Energy Build.*, vol. 186, pp. 56–70, 2019.
- [5] 'EN 15251 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics - European Standards'.
- [6] M. Nikolopoulou and S. Lykoudis, 'Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries', *Build. Environ.*, vol. 41, no. 11, pp. 1455–1470, 2006.
- [7] C. Norberg Schulz, *Existencia, espacio y arquitectura*. 1975.
- [8] E. y T. Ministerio de Industria, 'Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios'. 2013.
- [9] S. A. Fard *et al.*, 'ANSI/ASHRAE 55:2010 Addendum a to ANSI/ASHRAE Standard 55:2010', *Ashrae Standard*. 2011.
- [10] S. Shooshtarian, P. Rajagopalan, and A. Sagoo, 'A comprehensive review of thermal adaptive strategies in outdoor spaces', *Sustain. Cities Soc.*, vol. 41, no. June, pp. 647–665, 2018.
- [11] S. Coccolo, J. Kämpf, J. L. Scartezzini, and D. Pearlmutter, 'Outdoor human comfort and thermal stress: A comprehensive review on models and standards', *Urban Clim.*, vol. 18, pp. 33–57, 2016.
- [12] S. Xue and Y. Xiao, 'Study on the Outdoor Thermal Comfort Threshold of Lingnan Garden in Summer', *Procedia Eng.*, vol. 169, pp. 422–430, 2016.
- [13] M. Nikolopoulou, N. Baker, and K. Steemers, 'Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces: Understanding the Human Parameter', vol. 70, no. 3, pp. 227–235, 2001.

Aplicación de un sistema de ayuda a las decisiones en una región del Noreste de Portugal.

Marcelo Fagundes Correia, Luís F. Nunes, João Azevedo, Fernando Pérez-Rodríguez, Monica de Castro Pardo.

RESUMEN

La preocupación por mejorar la eficiencia de la gestión forestal ha promovido la creación de herramientas como los Sistemas de Ayuda a las Decisiones (Decision Support Systems, DSS) en los últimos años. En este estudio se evalúa la aplicación de dos herramientas informáticas para mejorar la gestión forestal de una región del Nordeste Transmontano de Portugal. El objetivo principal de estas herramientas es promover el aumento de la disponibilidad de madera de manera sostenible en la región. Para evaluar el desempeño de los dos softwares desarrollados, FlorNExT® e FlorNExT Pro®, se definieron dos hipótesis. La primera hipótesis estableció que estos softwares pueden proporcionar información útil para mejorar la gestión forestal y se validó usando un análisis de escenarios. La segunda hipótesis planteaba la operatividad de estas herramientas. Para contrastar la segunda hipótesis, se llevó a cabo un proceso participativo y se usó un Análisis de Jerarquías Analíticas (AHP) para recoger las preferencias de los usuarios. Como resultado se obtuvieron indicadores que midieron la capacidad de estas herramientas para mejorar la gestión forestal. Los resultados de los indicadores proporcionaron una respuesta positiva de los usuarios hacia estas herramientas, concluyéndose que fueron capaces de crear unas condiciones de optimización que favorecieron la dinámica asociada a la producción del sector forestal en la región analizada. Los resultados también mostraron la opinión generalizada de que estas herramientas son útiles para los propietarios y técnicos.

Palabras clave: Gestión forestal; DSS; AHP; Optimización.

Las SIG en el aula de Historia: Visualización de las murallas históricas de Elvas y Badajoz mediante la utilización de Sistemas de información Geográfica (SIG)

M. Corrales Serrano ⁽¹⁾, J. Sánchez Martín ⁽²⁾, J. Moreno Losada ⁽³⁾, F. Zamora Polo ⁽⁴⁾,

⁽¹⁾ *García de Paredes 4, 4C, Badajoz*

TF: 674964987 Mail: mariocorralesserrano@gmail.com

⁽²⁾⁽³⁾ *Facultad de Educación. Universidad de Extremadura, Badajoz.*

⁽⁴⁾ *Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Extremadura, Badajoz.*

1. Introducción – El uso del patrimonio histórico como herramienta para la implementación de estrategias innovadoras en el proceso de enseñanza y aprendizaje es una de las tendencias más extendidas en la actualidad en didáctica de las Ciencias Sociales. En este sentido es muy importante usar el propio patrimonio de las ciudades como herramienta facilitadora de la comprensión de fenómenos y acontecimientos históricos en la enseñanza de la historia de la en la etapa de Educación Secundaria. La combinación del uso de este patrimonio con el uso de medios tecnológicos aumenta, sin duda, la motivación en el interés por el aprendizaje por parte del alumnado

2. Experimento – el experimento llevado a cabo consiste en el acercamiento al estudio de la historia de las ciudades, tal y como se plantea en el currículo de Educación Secundaria, basándose en una de sus estructuras básicas: la muralla. Dos ciudades fronterizas y hermanadas, una española y otra portuguesa, Elvas y Badajoz, vienen definidas en su estructura urbana histórica por el elemento de la muralla, que sirve como huella del paso del tiempo en la ciudad.

La estrategia didáctica implementada se ha llevado a cabo en tres fases:

- Fase teórica, en la que el alumnado ha aprendido los contenidos teóricos acerca de la ciudad y la fusión de la muralla dentro de la ciudad.
- Fase práctica, consistente en la visita a las murallas de estas ciudades, visita diseñada para identificar los contenidos teóricos estudiados e la fase anterior.
- Fase tecnológica, en la que el alumnado se ha servido de herramientas SIG, como Google Earth, para visualizar la ciudad y la muralla desde una nueva perspectiva, y completar así la fase de aprendizaje.

El experimento se ha realizado con muestra de 60 estudiantes de 1º de ESO, en la asignatura de Geografía e Historia.

3. Resultados y discusión – Para evaluar los resultados de la experiencia se ha tenido en cuenta los resultados obtenidos en la evaluación, y la observación de las manifestaciones emocionales y motivacionales manifestadas por el alumnado en el diario de aula. La categorización de estas manifestaciones mediante el software cualitativo WebQDA permite valorar muy positivamente la experiencia, tanto en el aprendizaje de contenidos como en la motivación generada en el alumnado.

4. Conclusiones – La combinación de cercanía con el patrimonio de las ciudades con la implementación del uso de tecnologías aplicadas a la educación mejora el aprendizaje y la motivación de los estudiantes de Historia

5. Referencias

- Arancibia Herrera, M. M., & Badia Garganté, A. (2015). Concepciones de profesores de secundaria sobre enseñar y aprender Historia con TIC. *Revista electrónica de investigación educativa*, 17(2), 62-75.
- Boix, G., & Olivella, R. (2007). Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicados a la educación. El proyecto PESIG (Portal Educativo en SIG). En *Actas del VII Congreso Nacional de Didáctica de la Geografía. Ciudadanía y Geografía, Valencia*.
- Gómez Trigueros, I. M. (2016). La didáctica de la Geografía y las TIC: nuevas metodologías de enseñanza y aprendizaje.
- Souto, G. X. M. S. (2018). Una educación geográfica para el siglo XXI: aprender competencias para ser ciudadano en el mundo global. *Anekumene*, 1(1), 28-47.

El uso de la realidad virtual como herramienta para el aprendizaje del patrimonio histórico y cultural. Dos ejemplos concretos: Évora y Mérida.

M. Corrales Serrano ⁽¹⁾, J. Sánchez Martín ⁽²⁾, J. Moreno Losada ⁽³⁾, F. Zamora Polo ⁽⁴⁾,

⁽¹⁾ *García de Paredes 4, 4C, Badajoz*

TF: 674964987 Mail: mariocorralesserrano@gmail.com

⁽²⁾⁽³⁾ *Facultad de Educación. Universidad de Extremadura, Badajoz.*

⁽⁴⁾ *Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Extremadura, Badajoz.*

1. Introducción – Una de las grandes dificultades que presenta el estudio del patrimonio cultural antiguo es el hecho de su propio deterioro. La huella del paso de los años suele dificultar enormemente la comprensión global de los edificios, su posible estado original, su utilidad o su belleza estética. Una buena herramienta para hacer frente a esta dificultad es el uso de tecnologías, como las visitas virtuales, que recrean espacios históricos, permitiendo al estudiante la inmersión en la realidad histórico-artística con una perspectiva más enriquecedora.

2. Experimento – La experiencia llevada a cabo ha consistido en la realización de dos visitas virtuales al patrimonio de dos ciudades, una española y otra portuguesa, Mérida y Évora, que poseen ruinas romanas muy relevantes. La secuencia didáctica ha tenido tres fases:

- Fase teórica: en esta primera fase, el alumnado ha estudiado los contenidos referidos al periodo romano, y a las obras de arte que posteriormente iban a conocer.

- Fase fotográfica: Una vez aprendidos los contenidos, se ha ofrecido al alumnado una serie de fotografías de las ruinas romanas de Mérida y Évora, y se les ha pedido que hagan un comentario de estas obras, en el que tenían que identificar los elementos artísticos que habían estudiado, y a la vez, tenían que manifestar su opinión acerca de las obras de arte.

- Fase virtual: el alumnado ha visualizado dos visitas virtuales, una de cada ciudad, en las que se muestran los monumentos reconstruidos, y se les ha pedido que respondan a las mismas cuestiones: identificar elementos artísticos estudiados y manifestar su opinión.

El experimento se ha realizado con muestra de 60 estudiantes de 1º de ESO, en la asignatura de Geografía e Historia.

3. Resultados y discusión – Para evaluar la experiencia se han comparado los tectos de respuesta de las fases fotográfica y virtual, y se puede afirmar que la combinación de ambas fases mejora el aprendizaje de contenidos artísticos, y que el alumnado no se decantaría sólo por una visión fotográfica o sólo por la virtual, sino por la combinación de ambas.

4. Conclusiones – La combinación de recursos fotográficos y virtuales se revela como una estrategia adecuada para el aprendizaje de contenidos relacionados con la Historia del Arte.

5. Referencias

- (Arancibia Herrera & Badia Garganté, 2015) Abad, F. M., & Ramos, J. P. H. (2016). Implementación de la metodología Flipped Classroom con píldoras audiovisuales en la docencia universitaria con software estadístico. En EDUNOVATIC 2016-I Congreso Virtual internacional de Educación, Innovación y TIC.: Del 14 al 16 de diciembre de 2016. Libro de actas (pp. 171-180). REDINE. Red de Investigación e Innovación Educativa.
- Arancibia Herrera, M. M., & Badia Garganté, A. (2015). Concepciones de profesores de secundaria sobre enseñar y aprender Historia con TIC. Revista electrónica de investigación educativa, 17(2), 62-75.
- Duarte, A., GUZMÁN, M., Infante, A., Pardo, A., & Pavón, I. (2005). Actitudes del profesorado universitario sobre la enseñanza virtual en el proceso de Convergencia Europea. Revista electrónica interuniversitaria de formación del profesorado, 8(6).
- Prats, J. (2012). Líneas de investigación en didáctica de las ciencias sociales. *História & Ensino*, 9, 133-155.

MEASUREMENT OF ENVIRONMENTAL EFFICIENCY IN THE COUNTRIES OF THE EUROPEAN UNION WITH THE ENHANCED DATA ENVELOPMENT ANALYSIS METHOD (DEA) DURING THE PERIOD 2005-2012

Manuel Jesús Hermoso-Orzáez*

Assistant Professor, University of Jaén, Department of Engineering Graphics, Design and Projects, Jaén 23071, Spain. E-mail: mhorzaez@ujaen.es

Miriam García –Alguacil

University of Jaén, Faculty of Experimental Sciences, (Environmental Sciences), 23071 Jaén, Spain. E-mail: mga00043@red.ujaen.es

Julio Terrados-Cepeda

Full Professor, University of Jaén, Department of Engineering Graphics, Design and Projects, 23071 Jaén, Spain. E-mail: jcepeda@ujaen.es

ABSTRACT

In recent years there has been growing interest in measuring the environmental efficiency of the different territories, countries and / or nations. This has led to the development of different methods applied to the evaluation of environmental efficiency such as the Data Envelopment Analysis (DEA) method. This method, supported by different studies, allows measuring relative environmental efficiency and is consolidated as a very reliable method to measure the effectiveness of environmental policies in a specific geographical area.

The objective of our study is the calculation of the environmental efficiency of the 28 member countries of the European Union (U.E.) through the DEA method. We will collect the data regarding the last years in which there are reliable comparative data in all. We will study in reference to them, the results of the environmental policies applied in the different countries, in order to make comparisons between countries and classify them according to their environmental efficiency. Using this, two variants of calculation within the DEA method to compare in a contrasted way the results of environmental efficiency for the 28 countries of the European Union (EU) analyzed and propose possible solutions for improvement. Contributing in this work as main novelty the application of a new variant of the DEA Method, which we will call Improved Analysis Method (MAN) and that aims to agglutinate and assess more objectively, the results of the two DEA methods applied. The results show that there are 14 of the 28 countries that have a high relative environmental efficiency. However, we also find countries with very low environmental efficiency that should improve in the coming years. Coinciding precisely in this last group with countries recently admitted to the EU and where environmental policies have not yet been applied effectively and with positive results.

Keywords: DEA method, environmental efficiency, Sustainable Development, undesirable outputs, CO2 emissions, economy.

Use of biogas from Landfill in the Road Transport Sector: Current State

Jéssica M. Machado¹, Gisele M. R. Vieira², Ronney A. M. Boloy²

Abstract Although the use of fossil fuels has helped in the evolution of industrial processes, it has caused damage to the environment, such as the exacerbated emission of Greenhouse Gases (GHG), which are polluting and contribute directly to global warming. In addition, the transport sector, especially the road sector, is a major contributor to the emission of these polluting gases, as mobility plays an important role in the economy and society. Thus, renewable fuels appear as a promising alternative to reduce these environmental impacts, especially biogas which is a promising biofuel for the combustion process in internal combustion engines. There are researches that promotes the development of this biofuel, but it is still necessary to study about its acceptance in the market and the incentive to public policies. This paper discusses the current states through a systematic literature review, how biogas production from Urban Solid Waste (USW) of sanitary landfills has been used in public and private transportation. According to this research, the biogas use in road transport sector is diversified with high performance and short GHG emissions well in tractors, commercial carriers, agricultural machinery, passenger cars and city buses. It was concluded which use of biogas to substitute the mineral diesel in road transport sector allows the minimization of GHG emissions as well guarantees better quality of life in the society.

Keywords—biogas, road transport sector, greenhouse gases emissions, urban solid waste

A. INTRODUCTION

Industrial processes have been using fossil [1] resources over the years, contributing significantly to the development and growth of cities. However, the overuse of these resources, mainly as fuels, has caused numerous effects on the environment, mainly due to the increase of GHG emissions, especially carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄). Still, estimates indicate

that these effects could be catastrophic given the continuing trend of increasing world population.

Thus, renewable fuels appear as a promising alternative to reduce these environmental impacts, especially biogas which is a promising biofuel for the combustion process in internal combustion engines.

There are researches that promotes the development of this biofuel, but it is still necessary to study about its acceptance in the market and the incentive to public policies, especially addressed to road transport sector.

Production of solid waste (SW) is increasing worldwide due to a boom in industrialization, urbanization and population, improvement of living standards and development of global economy. As a result, solid waste management has become a crucial issue worldwide. Improper management of SW, typically, landfills and open dumping have caused serious pollution to air, soil, surface water, underground water as well as destroying the ecological environment and land use and explosive risk [1].

Much of this waste, which includes household, commercial and urban solid waste is destined for landfills. In these landfills, there is an anaerobic degradation process of the organic matter presents in the urban solid waste deposited there, resulting in leachate products such as slurry (mixture of mud and rainwater flowing through the landfill cell), and biogas, mainly composed of CH₄ and CO₂ [2].

Furthermore, Kliucininkas et al [3] assesses that the main environmental issues in cities are related to the predominant use of diesel mineral as a transport fuel, which contributes significantly to the increase of GHG in the atmosphere, since the public transport sector is one of the major contributors to increase these emissions. In Brazilian transportation sector, according to SEEG [4], CO₂ emissions are increasing over the years and the road transport is the principal responsible for this increase accounting for 225,000 tons of emissions in year 2017.

Thus, renewable energies play a limiting role in these emissions as they can totally or partially replace fossil fuels. Among renewable fuels, biogas is promising and can be used in public or private transport vehicles and in

This research was supported by CAPES. Finance Code 001

¹ Group of Entrepreneurship, Energy, Environment and Technology-GEEMAT, Master Student of Production and System Engineer Master Program, Federal Center of Technological Education of Rio de Janeiro-CEFET/RJ, Rio de Janeiro, Brazil.

² Group of Entrepreneurship, Energy, Environment and Technology-GEEMAT, Mechanical Engineering Department, Federal Center of Technological Education of Rio de Janeiro-CEFET/RJ, Rio de Janeiro, Brazil

various other applications, such as electric power generation.

Aligning these two urban problems, which include the treatment and final disposal of USW and the emission of GHGs, the biogas production through the degradation of organic matter present in USW gains prominence as this gas can be used as a vehicle fuel, leading to a lower GHG emissions. Thus, the aim of this paper is to verify, through a systematic literature review, whether biogas from USW degradation has been used as a fuel for public and private transportation.

B. METHODS

To perform the systemic literature review, the keywords urban solid waste AND biogas, biogas AND transport public and biogas and vehicle fuel and urban solid waste and vehicle fuel were used. For urban solid waste AND biogas 150 articles were found, for biogas and transport public 39 articles were found, for biogas and vehicle fuel 270 articles were found and for urban solid waste and vehicle fuel 19 articles were found. The search base for these keywords was Web of Science. From this search, these 478 articles were read and, with this selected, the articles that had strong, medium and weak adherence to the theme in question, which is the use of biogas as an alternative source of energy.

This adherence was made from the themes of the articles: if they were totally linked to the theme of the keywords, they received strong adherence; if they contained a theme linked to only one key word, received medium adherence; if they did not contain any of the keywords and were not directly related to the subject in question, they were classified as low adherence. Thus, this paper will focus only on those with strong adherence, since the objective is to present a systematic literature review.

C. RESULTS AND DISCUSSION

The literature review for these topics involved reading 478 articles and, for a better understanding, this analysis will be performed in four stages.

a. *Urban solid waste and biogas*

For these keywords we found 149 articles, of which 31 have strong adherence to the theme, 85 have medium adherence and 33 have weak adherence, as explained in the graph below.

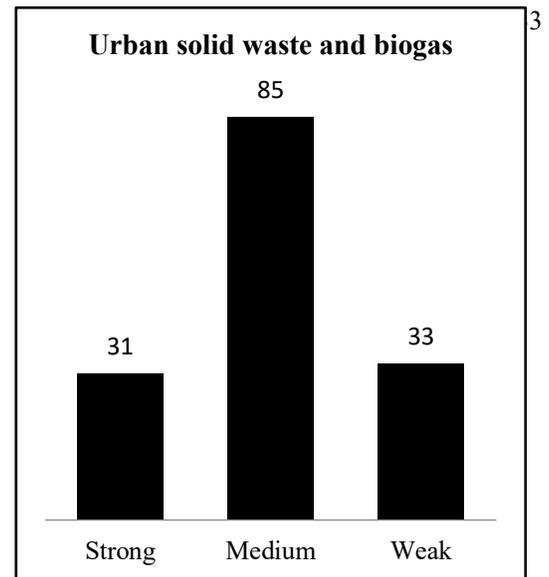


Fig. 1 – Graph representing the adherence of articles to the keywords *urban solid waste and biogas*

Can be noted that 20% of the articles with strong adherence, discussed the anaerobic digestion (AD) treatment. For example, in India, Breitenmoser et al [5] identify barriers and enabling factors along the AD chain (biowaste to technology to product utilization). Already in Treviso (northeast Italy), a combined acidic fermentation and anaerobic digestion (AD) treatment has been developed on a pilot scale for urban bio-waste conversion into volatile fatty acid and biogas [6].

In that same perspective, Wang et al [7] presented a case study for Ghana in sub-Saharan Africa, which three categories of waste including wastewater, municipal solid waste and agriculture waste are tested as the feedstock for thermochemical treatment via incineration, gasification, or pyrolysis for combined heat and power generation, or biological treatment such as anaerobic digestion (AD) and aerobic treatment considering a combination of waste treatment technologies and infrastructure, depending on local characteristics for supply and demand. The results indicate that the biogas generated from waste treatment turns out to be a promising renewable energy source in the analyzed region, while more distributed energy resources can be integrated.

Some articles (Bharathiraja et al [8]; Gebreegziabher et al, [9]; Kumar et al [10]) presented a systematic literature review encompassing the use of biogas from urban solid waste and a few reported case studies of municipal solid waste as a source of electric power generation in Colombia and Ecuador (Barragan-Escandon et al [11]). In this, the authors concluded that studies of the potential for implementing hydroelectric and solar photovoltaic energy and energy from landfill gas should be extended. In addition, the study presented by Liu et al [12] in Malaysia studied the use of landfill biogas to meet the energy demand

of business buildings in tropical countries, as they have higher use of air conditioning because of a hot climate.

Papers with other interesting subjects were also found as the importance of landfills as opposed to dumps [13] kinds of waste-to-energy applications, including combustible waste incineration, food waste biogas, organic wastewater biogas and livestock manure biogas for their industrial development [14]; estimation of the potential of organic municipal solid waste generated in an urban setting in a tropical climate to produce biogas using different categories of wastes were considered: fruit waste, food waste, paper waste, and mixed waste [15] the possibility to use urban organic waste from a city of Argentina for compost production and biogas production, with compost as a by-product, determining the produced compost and biogas and the corresponding greenhouse gases (GHG) emissions [16].

b. *Biogas and Transport Public*

With these keywords, 39 articles were found, of which only 12 had strong adherence to the proposed theme.

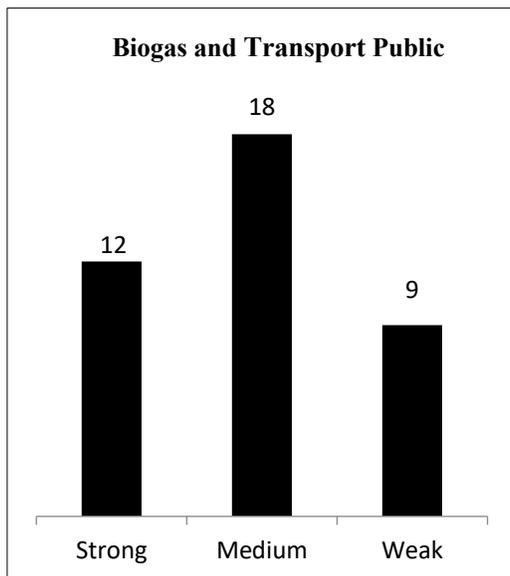


Fig. 2 – Graph representing the adherence of articles to the keywords *biogas and transport public*

Of the selected articles, 8 cited the use of biogas in European countries, such as Sweden. By reading these articles, it can be seen that this country has the ambition to phase out fossil fuels and significantly increase the share of biofuels it uses. Interestingly, Sweden has been producing biogas since the 1970s, starting in the manufacturing industry and the agricultural sector. By 2015, there were 282 biogas plants in Sweden, with about 60% of biogas

being updated as a carrier gas. Biogas production is much higher in other countries such as Germany, the Netherlands and the United Kingdom, but the share of biogas used as vehicle fuel, ie updated biogas, is much higher in Sweden [17].

Three of these articles focused on Stockholm County, which has 26 municipalities, and analyzed the key biogas stakeholders focusing on the demand side, as well as estimating the practical biogas potential in order to clarify the role of biogas in Sweden's renewable transport fuel targets policy and concluded that public organizations are key actors in relation to renewable energy and that policy issues strongly influence development, with a lack of a long-term national strategy [18].

A recurring subject in the Swedish articles analyzed was the modernization of biogas in biomethane as a renewable resource for future automotive strategies. Ahrens & Weiland [19] conducted a study that assessed the efficiency rates of a biogas and biomethane plant located in the Swedish city of Västerås, as well as the efficiency rates and methane losses of gas improvement facilities. More broadly, Larsson, Grönkvist & Alvfors [17] analyzed the development that has improved biogas in the Swedish transport sector in relation to policy instruments and natural gas availability, demonstrating that investment support schemes and energy exemptions. carbon, carbon dioxide taxes have been key instruments to start building new biogas production facilities and infrastructure. Already with a different focus from the other articles analyzed, the authors Lönnqvist, Grönkvist & Sandberg [20] analyzed how forest-derived methane may complement anaerobic digestion biogas as a transport fuel, concluding that the Swedish policy framework favors the use of methane derived from forest in transport, but also that biofuel can be used locally for electricity generation or industrial processes or injected into the natural gas grid.

Of the European articles, only one presented a different case from the others, where the authors described a comparative analysis of public transport alternatives in the city of Kaunas, Lithuania, based on the inventory of the life cycle assessment of fuel chains, using as for research the midi city bus and a similar type of trolleybus. This comparative life cycle assessment has suggested that biogas-powered buses and electric trolleybuses may be considered as the best alternatives to use when modernizing the public transport fleet in the analyzed city [3].

Only two papers reported Brazilian cases involving biogas, both of the same authors. One of the studies sought to present an analysis of the use of gas blending in the urban bus fleet of the 27 Brazilian states, using secondary energy derived from Brazilian hydroelectric power plants and landfill biogas, comparing this scenario with landfill-only methane use, assessing issues such as pollutant emissions, engine performance and deployment facilities. This analysis concluded that it is possible to replace diesel fuel

with clean energy forms such as hydrogen and methane mixtures and, in the scenarios presented here, the mixtures, if implemented, are capable of supplying the national urban fleet of 107,000 buses and more, considerably increasing the current fleet [20].

c. Biogas and vehicle fuel

With these words, 270 articles were found, of which 75 had strong adherence, 140 with medium and 53 with poor adherence.

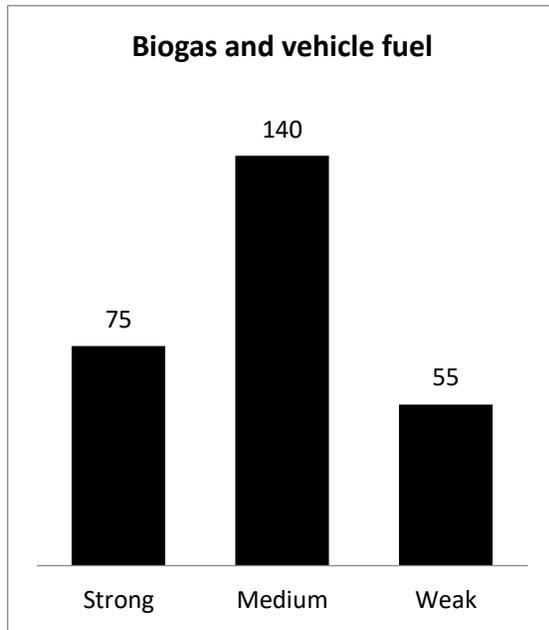


Fig. 3 – Graph representing the adherence of articles to the keywords biogas and vehicle fuel

It has also been noted that biogas can be used as fuel for various vehicles: tractors [21], tractor-trailer fleet that hauls municipal solid waste ([22]; [23]); commercial carriers that use vehicles installed with the turbocharged common rail diesel engine attempted to find methods to reduce the fuel cost using biogas [24]; agricultural machinery [25]; taxis in Bangkok, Thailand [26]; utilization in farm vehicles [27]

Most articles reported the use of biogas in urban transport buses. For example, Kuwahara, Berni & Bajay [28] discusses the potential use of biogas from municipal landfills to fuel urban transport buses in some Brazilian cities while Dos Santos [29] presents an evaluation of the potential energy and the emissions avoided by the

utilization of biogas energy produced from the biodegradation of seven types of organic wastes.

An interesting paper presents a biogas generation in the International Space Station (ISS), in the means that the anaerobic environment is particularly suitable in this scenario and if successful they plan to get NASA to launch space vehicles to Mars using this natural fuel with the ISS as the staging area [30].

d. Urban Solid Waste and Vehicle Fuel

With these words were found 19 articles, where only 2 had strong adherence.

Nadaletti et al [31] discusses the potential use of biogas produced from municipal solid wastes (MSW) of sanitary landfills from all Brazilian states to supply the current urban bus transportation fleet with great environmental, economic and social benefits.

The other paper presents how Methanol or hydrogen used in fuel cell vehicles can help address problems of deteriorating urban air quality due to vehicle pollution and heavy dependence of the transport sector on imported petroleum, exposing that buses are initial targets for commercial application of fuel cells. Even so, these authors say that MSW could become a major transportation energy resource, using New York City MSW for example, less than 25% of New York City's MSW supply would be sufficient to produce the methanol or hydrogen needed to fuel the entire city's bus fleet, if the buses were fuel cell powered [32].

IV CONCLUSIONS

[2]

In this study we demonstrated the benefits associated with the use of biogas from USW to replace diesel mineral in road transport sector.

According to this research, the biogas use in road transport sector is diversified with high perform and short GHG emissions well in tractors, commercial carriers, agricultural machinery, passenger cars and city buses.

Biogas appear as a promising alternative to reduce environmental impacts, still from a social point of view, use biogas in the road transport sector guarantees minimize several diseases related to the human respiratory system.

This paper summarized the main peculiarities of biogas, showing, mainly, that public organizations become key players in relation to renewable energy and political issues strongly influence development, with a lack of a national strategy.

Thus, it is important that future studies analyze how public policies are being directed towards sustainable development of countries.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was funded by CAPES (Coordination for the Improvement of Higher Level). Finance Code 001

REFERENCES

- [1] Intharathirat R. and Salam, P., “Valorization of MSW-to-Energy in Thailand: Status, Challenges and Prospects Waste Biomass Valor”, *vol. 7, pp. 31–57, 2016.*
- [2] G. A., Silva; J. A. Morais, JA (Morais, Joacio Arajo, Jr and E. R., Rocha “Proposal for procedure standard for Biochemical Methane Potential test applied to municipal solid waste”, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol. 21, pp. 11-16, Jan. 2016, DOI: 10.1590/S1413-41520201600100134484
- [3] Kliucininkas et al, “The life cycle assessment of alternative fuel chains for urban buses and Trolleybuses”, *Journal of Environmental Management*, vol. 99, pp. 98-103, May 2012, DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.01.012
- [4] SEEG. Sistema De Estimativa De Emissões De Gases De Efeito Estufa. Acess May 4. Available in: <http://plataforma.seeg.eco.br/sectors/energia>
- [5] L. Breitenmoser, T. Gross, R. Huesch,, J. Rau, H. Dhar, S. Kumar, C. Hugi, T. Wintgens, “Anaerobic digestion of biowastes in India: Opportunities, challenges and research needs”, *Journal Of Environmental Management*, vol. 236, pp. 396-412, Apr 2019, DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.12.014
- [6] F. Valentino, G. Moretto, M. Gottardo, P. Pavan, D. Bolzonella, M. Majone, “Novel routes for urban bio-waste management: A combined acidic fermentation and anaerobic digestion process for platform chemicals and biogas production”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 220, pp. 368-375, May 2019, DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.02.102
- [7] X. N. Wang, M. Guo, R. H. E. M. Koppelaar, K. H. van Dam, C. P. Triantafyllidis, CP; N. Shah, “A Nexus Approach for Sustainable Urban Energy-Water-Waste Systems Planning and Operation”, *Environmental Science & Technology*, vol. 52, pp. 3257-3266, Mar 2018, DOI: 10.1021/acs.est.7b04659
- [8] B. Bharathiraja, T. Sudharsanaa, A. Bharghavi, J. Jayamuthunagai, R. Praveenkumar, “Biohydrogen and Biogas - An overview on feedstocks and enhancement process’
- [9] Z. Gebreegziabher, L Naik, R. Melamu, B. B.; Balana, “Prospects and challenges for urban application of biogas installations in Sub-Saharan Africa”, *Biomass & Bioenergy*, vol.70, pp.130-140, Nov 2014, DOI: 10.1016/j.biombioe.2014.02.036
- [10] S. Kumar, A. N. Mondal, S. A. Gaikwad, S. Devotta, R. N. Singh, “Qualitative assessment of methane emission inventory from municipal solid waste disposal sites: a case study”, *Atmospheric Environment*, vol.38, pp. 4921-4929, Sep 2004, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2004.05.052
- [11] A. Barragan-Escandon, J. Terrados-Cepeda, E. Zalamea-Leon, P. Arias-Reyes, “Electricity production using renewable resources in urban centres”, *Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers-Energy*, vol. 171, pp. 12-25, Feb 2018, DOI: 10.1680/jener.17.00003
- [12] W. H. Liu, H. Hashim, J. S. Lim, C. S. Ho, J. J. Klemes, M. I. Zamhuri, W. S. Ho, “Techno-economic assessment of different cooling systems for office buildings in tropical large city considering on-site biogas utilization”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 184, pp. 774-787, May 2018, DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.180
- [13] J. Ma, Z. B. Luo, F. Chen, Q. L. Zhu, S. L. Zhang, G. J. Liu, “A Practical Approach to Reduce Greenhouse Gas Emissions from Open Dumps through Infrastructure Restructuring: A Case Study in Nanjing City, China”, *Sustainability*, vol. 10, Aug 2018, DOI: 10.3390/su10082804
- [14] C.C. Anyaoku, S, “Decentralized anaerobic digestion systems for increased utilization of biogas from municipal solid waste”, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 982-991, Jul 2018, DOI: 10.1016/j.rser.2018.03.009
- [15] T. Getahun, M. Gebrehiwot, A. Ambelu, T. Van Gerven, B. Van der Bruggen, “The potential of biogas production from municipal solid waste in a tropical climate”, *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 186, pp. 4637-4646, Jul 2014, DOI: 10.1007/s10661-014-3727-4
- [16] R. D. Piacentini, M. Vega, “Comparative Analysis of the Possibility to Use Urban Organic Waste for Compost or Biogas Productions. Application to Rosario City, Argentina”, *World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium – Wmcaus*, vol. 245, 2017, DOI: 10.1088/1757-899X/245/5/052029
- [17] M. Larsson, S. Grönkvist, P. Alvfors, “Upgraded biogas for transport in Sweden - effects of policy instruments on production, infrastructure deployment and vehicle sales”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, pp.

3774-3784, Jan 2016, DOI: 10.1016/j.clepro.2015.08.056

[18] J. Ammenberg, S. Anderberg, T. Lonnqvist, S. Gronkvist, T. Sandberg, T., "Biogas in the transport sector-actor and policy analysis focusing on the demand side in the Stockholm region", *Resources Conservation and Recycling*, vol. 129, pp. 70-80, Feb 2018, DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.10.010

[19] T. Ahrens, P. Weiland, "Biomethane for future mobility", *Landbauforschung Volkenrode*, vol. 57, pp. 71-79, Mar 2007.

[20] T. Lönqvist, S. Grönkvist, T. Sandberg, "Forest-derived methane in the Swedish transport sector: A closing window?", *Energy Policy*, vol.105, pp. 440-450, Jun 2017, DOI: 10.1016/j.enpol.2017.03.003

[21] W. C. NADALETI, G. Przybyła, P. B. Filho, et al., "Methane-hydrogen fuel blends for SI engines in Brazilian public transport: Potential supply and environmental issues", *International Journal of hydrogen energy*, vol. 42, pp. 12615-12628, 2017. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.03.124

[22] M .Owczuk, A. Matuszewska, S. Kruczynski, W. Kamela, "Evaluation of Using Biogas to Supply the Dual Fuel Diesel Engine of an Agricultural Tractor", *Energies*, vol. 12, Mar 2019, DOI: 10.3390/en12061071

[23] K. M. Winslow, S. J. Laux, T. G.Townsend, "An economic and environmental assessment on landfill gas to vehicle fuel conversion for waste hauling operations", *Resources Conservation and Recycling*, vol. 142, pp. 155-166, Mar 2019, DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.11.021

[24] K. Shanmugam, M. Tysklind, V. K. K. Upadhyayula, "Use of Liquefied Biomethane (LBM) as a Vehicle Fuel for Road Freight Transportation: A Case Study Evaluating Environmental Performance of Using LBM for Operation of Tractor Trailers", *5th Cirp Life Cycle Engineering (Lce) Conference*, vol. 69, pp. 517-522, 2018, DOI: 10.1016/j.procir.2017.11.133

[25] N. Kammuang-lue, M. Bhudtiyatane, "Optimum ratio of compressed biomethane gas as dual fuel in turbocharged common rail diesel engine", *Journal of the Energy Institute*, vol. 91, pp. 1113-1125, Dec 2018, DOI: 10.1016/j.joei.2017.06.012

[26] A. Saidi, C. Trinkl, F. Conti, M. Goldbrunner, J.Karl, "Partially Upgraded Biogas: Potential for Decentralized Utilization in Agricultural Machinery", *Chemical Engineering &Technology*, vol. 41, pp. 2111-2119, Nov 2018, DOI: 10.1002/ceat.201800100

[27] S. Nilrit, P. Sampanpanish, S. Bualert, "Carbon dioxide and methane emission rates from taxi vehicles in

Thailand", *Carbon Management*, vol. 9, pp. 37-43, 2018, DOI: 10.1080/17583004.2017.1412232

[28] C. H. Coimbra-Araujo, L. Mariane, C. Bley, E. P.Frigo, M. S. Frigo, I. R. S. Araujo, H. J. Alves, "Brazilian case study for biogas energy: Production of electric power, heat and automotive energy in condominiums of agroenergy", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 40, pp. 826-839, Dec 2014, DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.024

[29] N. Kuwahara, M. D. Berni, S. V. Bajay, "Energy supply from municipal wastes: The potential of biogas-fuelled buses in Brazil", *Renewable Energy*, vol. 16, pp. 1000-1003, Jan 1999, DOI: 10.1016/S0960-1481(98)00353-X

[30] I. F. S. dos Santos, N. B. D. Vieira, L. G. B. de Nobrega, R. M. Barros, G. L. Tiago, "Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in Brazil: Impact on energy generation, use, and emissions abatement", *Resources Conservation and Recycling*, vol. 131, pp. 54-63, Apr 2018, DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.12.012

[31] B. T. Kurien, Y. Dorri, A. D'Souza, R. H. Scofield, "Four men in a space station - To say nothing of the cow! The quest for finding respite and work in the ultimate frontier", *Medical Hypotheses*, vol. 68, pp. 1195-1199, 2007, DOI: 10.1016/j.mehy.2006.12.023

[32] A. I. Parralejo, L. Royano, J. Gonzalez, J. F. Gonzalez, "Small scale biogas production with animal excrement and agricultural residues", *Industrial Crops and Products*, vol.131, pp. 307-314, May 2019, DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.01.059

[33] T. Prade, S. E. Svensson, O. Horndahl, E.Kreuger, "Impact of Harvest Date and Cutting Length of Grass Ley and Whole-Crop Cereals on Methane Yield and Economic Viability as Feedstock for Biogas Vehicle Fuel Production", *Bioenergy Research*, vol. 12, pp. 137-149, Mar 2019, DOI: 10.1007/s12155-018-9952

[34] M. Habib, I. Haq, P. Mustafa, H. Rehman, R. Khan, A. U. Khan, "Production of Biofuels from Micro ALGAE and green wastes through Anaerobic Digestion", *2015 Power Generation Systems And Renewable Energy Technologies (Pgsret-2015)*, pp. 326-331, 2015.

ANALYSIS AND ENERGY CERTIFICATION OF AN ANDALUSIAN PUBLIC HEALTH CENTER OF THE YEAR 1957. COMPARATIVE BETWEEN THE GENERAL OPTION AND SIMPLIFIED PROCEDURES.

Francisco Javier Montiel Santiago

Head of Maintenance Technician
Hospital Ciudad de Jaén/University
of Jaén, Department of Engineering
Graphics, Design and Projects, Jaén

23071, Spain. E-mail:
javier.montiel@coiiaor.es

Manuel Jesús Hermoso-Orzáez*

Assistant Professor, University of
Jaén, Department of Engineering
Graphics, Design and Projects, Jaén
23071, Spain. E-mail:

mhorzaez@ujaen.es

*Corresponding author

Paulo Brito

IPP Portalegre. Campus
Politécnico, 10 | 7300-555
Portalegre, Portugal

E-mail: pbrito@ippportalegre.pt

ABSTRACT

The requirements concerning the energy certification of buildings established in Directive 2002/91 / EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002, which was in turn modified by Directive 2010/31 / EU of the European Parliament and of the Council, of May 19, 2010, regarding the energy efficiency of buildings, were transposed into Spanish legislation through Royal Decree 47/2007, dated January 19, through which a Basic Procedure for certification was approved of energy efficiency of new buildings, which was consolidated by Royal Decree 235/2013, of April 5, which approves the basic procedure for the certification of the energy efficiency of buildings. In said Royal Decree, it is established that existing buildings or units of buildings occupied by a public authority, must obtain an energy efficiency certificate and will have the obligation to display their energy efficiency label, when their total useful area exceeds 250 m², and are usually frequented by the public. The Basic Procedure is established that must comply with the methodology for calculating the energy efficiency rating, considering those factors that have the greatest impact on their energy consumption, as well as the technical and administrative conditions for the energy efficiency certifications of the buildings. For this purpose, three software programs were promoted from the competent Ministry, one corresponding to the general option (LIDER-CALENER "HULC" unified tool) and two others corresponding to the simplified option (simplified procedures CE3 and CE3X), which allow the energy qualification to be carried out of buildings according to three types of buildings (residential, small and medium-sized tertiary, and large tertiary) that are increasing the requirements of the energy certification of the building depending on the type of the same. This study identifies the possible alternatives for improving energy efficiency over the initial qualification of the building, within a context of technical and economic feasibility, optimizing energy demand, reducing CO₂ emissions and building energy consumption, being The study also compares the results obtained in the energy rating, between the general option and the simplified procedures, on an Andalusian health center in 1957, which corresponds to the typology of the Gran Tertiary building (GT).

Keywords: certification, energy qualification, energy efficiency, sustainable buildings, CO₂ emissions, sustainability.

ANÁLISIS Y CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DE UN CENTRO SANITARIO PÚBLICO ANDALUZ DEL AÑO 1957. COMPARATIVA ENTRE LA OPCIÓN GENERAL Y LOS PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS.

Francisco Javier Montiel Santiago

Head of Maintenance Technician Hospital Ciudad de Jaén/University of Jaén, Department of Engineering Graphics, Design and Projects, Jaén

23071, Spain. E-mail: javier.montiel@coiaor.es

Manuel Jesús Hermoso-Orzáez*

Assistant Professor, University of Jaén, Department of Engineering Graphics, Design and Projects, Jaén 23071, Spain. E-mail: mhorzaez@ujaen.es *Corresponding author

Paulo Brito

IPP Portalegre. Campus Politécnico, 10 | 7300-555 Portalegre, Portugal

E-mail: pbrito@ippportalegre.pt

ABSTRACT

Las exigencias relativas a la certificación energética de edificios establecidas en la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, que fue a su vez modificada mediante la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios, se transpusieron a la legislación española a través del Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, mediante el que se aprobó un Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción, que fue refundido por el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. En dicho Real Decreto, se establece que los edificios o unidades de edificios existentes ocupados por una autoridad pública, deberán obtener un certificado de eficiencia energética y tendrán la obligación de exhibir su etiqueta de eficiencia energética, cuando su superficie útil total sea superior a 250 m², y sean frecuentados habitualmente por el público. Se establece el Procedimiento básico que debe cumplir la metodología de cálculo de la calificación de eficiencia energética, considerando aquellos factores que más incidencia tienen en su consumo energético, así como las condiciones técnicas y administrativas para las certificaciones de eficiencia energética de los edificios. Para ello desde el Ministerio competente se promovieron tres programas informáticos, uno correspondiente a la opción general (herramienta unificada LIDER-CALENER "HULC") y otros dos correspondientes a la opción simplificada (procedimientos simplificados CE3 y CE3X), que permiten realizar la calificación energética de edificios atendiendo a tres tipologías de edificios (residencial, terciario pequeño y mediano, y gran terciario) que van incrementando los requisitos de la certificación energética del edificio en función de la tipología del mismo. En este estudio se identifican las posibles alternativas de mejora de la eficiencia energética sobre la calificación inicial del edificio, dentro de un contexto de viabilidad técnica y económica, optimizando la demanda energética, reduciendo las emisiones de CO₂ y el consumo de energía del edificio, siendo también objeto de estudio la comparación de los resultados obtenidos en la calificación energética, entre la opción general y los procedimientos simplificados, sobre un centro sanitario andaluz de 1957, y que se corresponde con la tipología de edificio Gran Terciario (GT).

Keywords: certificación, calificación energética, eficiencia energía, edificios sostenibles , CO₂ emisiones, sostenibilidad.

Numerical simulation of volatile organic compounds during condensation in a vertical tube

Kaoutar Zine-Dine, Youness El Hammami, Sara Armou, Rachid Mir and Touria Mediouni

Laboratory of Mechanics, Processes, Energy and Environment, National School of Applied Sciences

ENSA, B.P 1136, Agadir, Morocco

ABSTRACT

The Condensation of mixture is one technology used to reduce volatile organic compounds (VOCs) emission rates. Its use has been driven in part by the Clean Air Act Amendments of 1990, which state acceptable rates for VOCs emissions. Condensation technology allows reclamation of VOCs, providing an economic incentive when costly product is reclaimed as a condensate and can be used to protect the ozone layer in the stratosphere. One of the most harmful air pollutants are VOCs, which can be evaporated and transport to atmosphere at ambient conditions. Such materials have been making many pollution risks such as: their ability to forming undesired photochemical ozone smog, and the potential to cause carcinogenic and mutagenic [1]. Also VOCs react with stratospheric ozone causing destroying in this sphere and increasing the hole in ozone layer which protects us from ultraviolet rays [2].

Indeed, various studies have focused on the improvement of film condensation with different numerical or experimental methods using pure vapors or mixtures of vapor and non-condensable gas by studying the effect of parameters affecting this phenomenon.

The authors [3] developed a numerical study of heat and mass transfer during the condensation of water vapor and ethanol (and methanol) mixture in the presence of air. They showed that the transfers during the condensation of the ethanol vapor and methanol mixture are more influenced by the non-condensable gas compared to the water vapor.

The purpose of this study is to analyze the combined heat and mass transfer through condensation of VOCs, particularly alcohols (n-butanol-propanol, ethanol-propanol and n-butanol-ethanol) in the presence of non-condensable gas inside a vertical tube. An implicit finite difference method is employed to solve the coupled governing equations for liquid film and gas flow together with the interfacial matching conditions [4, 5, and 6]. The numerical results indicate that the condensation of the ethanol-propanol mixture is more important in comparison with other COVs.

Keywords: Pollutants, VOCs, Condensation, Phase change, Numerical simulation.

[1] P. L. William. Carter. Computer modeling of environmental chamber measurements of maximum incremental relativities of volatile organic compounds, Statewide Air Pollution Research Center, University of California, U.S.A. September 1995.

[2] J. Feron .Victor., International issues on human health effects of exposure to chemical mixtures, TNONutrition and Food Research, Toxicology Division, Zeist, The Netherlands. December 2002, pp 215.

[3] El Hammami Y., A. Azzabakh, R. Mir, T. Mediouni (2013, November). Étude numérique de la condensation d'un mélange ternaire en film liquide à l'intérieur d'un tube vertical. 16th International Conference of Thermal (Jith), Marrakech (Morocco).

[4] Patankar S. V. (1980). Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere/Mc Graw-Hill, New York. Chap.6.

[5] Perry Don R. H. (1999), editor. Perry's Chemical Engineers Handbook Chp: Prediction and correlation of physical properties 2-337. McGraw-Hill New York.

[6] Raithby G.D. and G. E. Schneider (1980). Numerical solutions of problems in incompressible fluid flow: treatment of the velocity-pressure coupling. Numerical Heat Transfer, 2:417–440.

Segurança de Barragens

Renata Fonseca, Simone Minioli

Renata Messias Fonseca
Sócia de Borges & Almeida Advocacia
Coordenadora do Comitê de Meio
Ambiente da Associação Brasileira de
Companhias de Energia Elétrica
 Florianópolis, Brasil
 renatafonseca@bsadvocacia.com.br

Simone Paschoal N. Minioli
Sócia de Siqueira Castro Advogados
 São Paulo Brasil
 snogueira@siqueiracastro.com.br

Resumo — Esse artigo apresenta considerações sobre as normas que regem a segurança de barragens no Brasil, bem como sobre algumas das propostas apresentadas ao Congresso Nacional Brasileiro para alteração dessa norma após os desastres nas barragens de rejeito de minério localizadas nas cidades de Mariana e Brumadinho, no Estado de Minas Gerais.

Palavras-chave—segurança, barragens, setor elétrico, seguro, rompimento, órgão licenciador, projeto de lei

INTRODUÇÃO

O presente artigo traz uma breve análise sobre a evolução das normas brasileiras que regulamentam o tema segurança de barragens, com especial foco no conteúdo dos projetos de lei que foram apresentados ao Congresso Nacional após o rompimento das barragens de rejeito de minério nos Municípios de Mariana e Brumadinho, em Minas Gerais, visando à alteração da Lei de Segurança de Barragens. O objetivo é demonstrar que parte das propostas apresentadas para incremento da legislação buscam, na verdade, instituir medidas para garantir a reparação de danos pós acidentes, e não desenvolver ações preventivas para evitá-los.

HISTÓRCIO DAS NORMAS BRASILEIRAS SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS

Em 5 de novembro de 2015, a mídia brasileira noticiou o rompimento da barragem de rejeitos de minério denominada Fundão, localizada no subdistrito de Bento Rodrigues, a 35 quilômetros do centro do município de Mariana, em Minas Gerais. O desastre, que provocou gravíssimos danos ambientais e a morte de 18 pessoas, repercutiu mundialmente, despertando o debate a respeito do tema segurança de barragens.

Na época, no Brasil, já vigorava a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que instituiu a Política Nacional de Segurança de Barragens, determinando ser o empreendedor o agente responsável legal pela segurança da barragem e, no caso do setor elétrico, a entidade que concedeu ou autorizou o uso do potencial hidráulico para fins de geração hidrelétrica, o agente fiscalizador da referida segurança.

Sem pormenorizar, a norma estabeleceu critérios gerais sobre o tema, deixando aos órgãos fiscalizadores de cada setor a responsabilidade por regulamentar questões determinantes à segurança dos barramentos, como, por exemplo, a classificação das barragens considerando as categorias de (i) risco, em função das características técnicas, do estado de conservação e do atendimento ao Plano de Segurança da Barragem, (ii) dano potencial associado, considerando o potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem e (iii) volume, tudo a partir de critérios a serem definidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

De igual modo, estabeleceu a obrigatoriedade de elaboração de um Plano de Segurança de Barragem, deixando ao órgão fiscalizador a responsabilidade por determinar seu conteúdo, considerando o escopo mínimo disposto na lei federal, a periodicidade de atualização e a qualificação do responsável técnico por sua elaboração. Instituiu também a competência do órgão fiscalizador para determinar a elaboração de Planos de Ação e Emergência (PAE) em função das categorias de risco e dano potencial associado à barragem, ressalvados os casos de barragens classificadas como de dano potencial associado alto, quando o referido plano é obrigatório.

Alguns dos critérios necessários à regulamentação da lei federal foram definidos ainda em 2012, pelo CNRH, por meio da Resolução nº 143, de 10 de julho de 2013, que estabeleceu os parâmetros gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, e da Resolução nº 144, de 10 de julho de 2012, que instituiu diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens.

Contudo, até o desastre de Mariana, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), responsável pela concessão e autorização do uso do potencial hidráulico para fins de geração hidrelétrica no Brasil, não havia editado qualquer norma visando regulamentar

o disposto na Lei de Segurança de Barragens para empreendimentos hidrelétricos.

A regulamentação veio apenas após o desastre, ainda que ele não tenha ocorrido em uma barragem hidrelétrica, sendo que em 15 de dezembro de 2015, por meio da Resolução Normativa ANEEL nº 696, a Agência estabeleceu critérios para classificação, formulação do Plano de Segurança e realização da Revisão Periódica de Segurança das barragens hidrelétricas.

Também depois do ocorrido, foram apresentados à Câmara de Deputados ao menos dois projetos de lei visando alterar a Lei de Segurança de Barragens para instituir a obrigatoriedade de contratação de seguro contra o rompimento de barramentos (Projetos de Lei nº 3561/2015 e nº 3563/2015).

Mencionados projetos tiveram uma movimentação modesta aos longo dos anos subsequentes, até que, em 25 de janeiro de 2019, a população brasileira foi surpreendida pelo rompimento de uma nova barragem de rejeitos de minério, dessa vez no Município de Brumadinho, também em Minas Gerais, ocasionando a morte de mais de 200 pessoas.

Naquele momento, o tema segurança de barragens ressurgiu, acompanhado de um imenso clamor público pela responsabilização dos envolvidos – inclusive agentes fiscalizadores, e assumiu papel de destaque nos fóruns de debates e no Congresso Nacional Brasileiro, onde dezenas de projetos de lei foram apresentados objetivando alterar a Lei de Segurança de Barragens.

Em que pese ambos os acidentes acima relatados terem ocorrido em barragens do setor de mineração, que em nada se assemelham às barragens de usinas hidrelétricas, desde o desastre de Mariana o setor elétrico brasileiro tendo sido alvo de incontáveis ações promovidas por agentes fiscalizadores, órgãos ambientais e ministério público com vistas a obter dados e documentos que comprovem minimamente a segurança de seus barramentos.

PROPOSTAS DE ALTERAÇÃO DA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

Conforme mencionado, as barragens do setor elétrico em nada se assemelham às do setor de mineração, especialmente em razão de seu processo construtivo, que é realizado em uma só etapa, tendo como fundação rochas tratadas com injeções, e como matéria-prima solo argiloso proveniente de jazidas com controle geotécnico, enquanto as barragens do setor de mineração têm construção dinâmica, sofrendo constante alteamento, e são edificadas com rejeito compactado sobre o próprio rejeito.

Ainda assim, depois dos desastres de Mariana e Brumadinho, a maioria das propostas de revisão da Lei de Segurança de Barragens tem como objeto também os barramentos de hidrelétricas, gerando inegáveis

consequências ao setor elétrico brasileiro e a necessidade de debate do tema.

Apenas a título de exemplo vale citar algumas das propostas constantes nos projetos de lei que tramitam no Congresso Nacional Brasileiro e têm como objetivo a alteração da Lei de Segurança de Barragens:

- a renovação de licenças ambientais de operação de empreendimentos fica vinculada à contratação de seguro contra o rompimento da barragem e adoção de medidas de segurança;
- a ausência de seguro contra o rompimento da barragem – por si só - configura infração e crime ambiental;
- o prazo prescricional das ações de indenização por danos provenientes de acidentes com barragens passa a ser de 20 (vinte) anos;
- torna obrigatória a elaboração de Plano de Ação e Emergência para todos os tipos de barramentos, sempre antes do início da operação do empreendimento;
- torna obrigatória a participação da população na elaboração dos Planos de Ação e Emergência;
- a responsabilidade pela segurança da barragem passa a ser do órgão ambiental licenciador do empreendimento (retirando a competência dos órgãos fiscalizadores setoriais);
- o licenciamento de empreendimentos com barramentos ocorrerá sempre no modelo trifásico (licença prévia, de instalação e de operação);
- torna obrigatória a implantação de sirenes a jusante de todos os barramentos;
- torna obrigatória a instituição de um plano para localização, resgate e cuidados de animais atingidos por desastres ambientais até 24 horas após sua ocorrência, sob pena de multa de até R\$ 10.000.000.000,00 (dez bilhões de reais) em caso de não elaboração ou execução do plano;
- torna obrigatória a publicação regular de laudos sobre a segurança de barragens, sob pena de pagamento de multa de 10% (dez por cento) do valor da obra;
- criminaliza a conduta do agente público responsável pela fiscalização da segurança da barragem que der causa à não realização de qualquer dos instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens;
- torna obrigatória a disponibilização de assistência médica e educacional básica vitalícia às vítimas de desastres envolvendo o rompimento ou vazamento de barragens, sob pena de multa;

- criminaliza a conduta do empreendedor que deixar de adotar medidas de prevenção ou recuperação de barragens em caso onde houver risco de acidentes.

Pois bem, dentre as dezenas de projetos apresentados, recentemente foi aprovado pela Câmara dos Deputados o Projeto de Lei nº 2791/2019, que agora segue para apreciação pelo Senado Federal¹.

Em que pese se tratar de uma iniciativa louvável, referido projeto prevê algumas alterações em conceitos já consolidados pelos setores regulados, além de instituir o seguro contra o rompimento de barragens e propor a atuação dos órgãos ambientais licenciadores no estabelecimento de questões voltadas à segurança de barragens, pontos que, conforme será visto a seguir, entendemos questionáveis.

a. Alteração do Conceito de Autossalvamento

De acordo com a redação atual do Projeto de Lei nº 2791/2019, constitui Zona de Autossalvamento (ZAS) “o trecho do vale a jusante da barragem em que não haja tempo suficiente para intervenção da autoridade competente em situação de emergência”. Esse conceito, além de ser subjetivo, o que pode gerar interpretações díspares dos empreendedores e agentes fiscalizadores sobre sua abrangência, é contrário àquele já aplicado pelo mercado, com base no disposto na Resolução nº 236, de 30 de janeiro de 2017, da Agência Nacional de Águas (ANA), a saber:

“Zona de Autossalvamento - ZAS: região do vale a jusante da barragem em que se considera que os avisos de alerta à população são da responsabilidade do empreendedor, por não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em situações de emergência, devendo-se adotar, no mínimo, a menor das seguintes distâncias para a sua delimitação: a distância que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação igual a trinta minutos ou 10 km”.

A nosso ver, o estabelecimento de critérios objetivos para definição da zona de autossalvamento garante maior efetividade ao processo de determinação das medidas aplicáveis em caso de rompimento de barragens, resultando maior segurança aos

empreendedores, aos órgãos fiscalizadores e, especialmente, às potenciais vítimas. Nessa toada, entende-se que deve ser mantido o conceito já utilizado pelo mercado e consolidado na Resolução da ANA, elaborada a partir de critérios técnicos.

b. Atuação do Órgão Ambiental Licenciador no Aferimento da Segurança da Barragem

Outra alteração proposta pelo projeto de lei se refere à possibilidade de o órgão ambiental licenciador do empreendimento, em paralelo ao órgão fiscalizador, no caso concreto a ANEEL, atuar em questões afetas à segurança da barragem, como na determinação da periodicidade adequada para revisão dos Planos de Ação e Emergência, e na indicação do alcance do sistema sonoro a ser implantado para auxiliar nas ações de autossalvamento, objeto de referido Plano.

De acordo com o artigo 12 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, os Planos de Ação e Emergência devem contemplar, pelo menos, a identificação e análise das possíveis situações de emergência; procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura da barragem; procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação; e estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência.

Trata-se, portanto, de um instrumento intrinsecamente relacionado à segurança da barragem e que tem como destinatários o empreendedor, os órgãos de defesa civil, os órgãos fiscalizadores e as municipalidades.

Conforme ressaltado, a Lei de Segurança de Barragens, em sua redação original e ainda em vigor, determina que o agente responsável pela fiscalização da segurança das barragens hidrelétricas é o órgão que concedeu ou autorizou o uso do potencial hidráulico para fins de geração hidrelétrica, a ANEEL. Isso porque referido órgão é o que possui capacidade técnica para análise de questões afetas à segurança do barramento.

No mais, a Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012, denominada Lei de Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - que estabelece ações de prevenção,

¹ No Brasil, a edição de lei ordinárias ocorre no âmbito das duas casas do Congresso Nacional, a Câmara dos Deputados e o Senado Federal. O processo legislativo inicia com a apresentação do projeto de lei em uma das casas, chamada Casa Iniciadora, onde ocorrerá a análise de mérito e constitucionalidade da proposta, que será então submetida ao plenário. Sendo aprovada, a proposta segue para a outra casa, denominada Casa Revisora, que após nova análise de mérito e constitucionalidade, poderá (i) aprovar o projeto, remetendo-o para veto ou sanção do Presidente da República, (ii) rejeitar o projeto, que seguirá para arquivo, ou (iii) emendar o projeto, sendo ele devolvido para a Casa Iniciadora para análise final.

² Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências

mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à proteção e defesa civil para todo e qualquer desastre, inclusive aqueles envolvendo o rompimento de barramentos, determina a competência dos municípios brasileiros para atuar na prevenção e preparação das comunidades face às ameaças identificadas em seu território, devendo elaborar seus Planos de Contingência de Proteção e Defesa Civil, manter as populações informadas sobre os riscos aos quais estão submetidas, estabelecer protocolos de alerta e ações emergenciais em situação de desastre e treinar a população através de exercícios simulados.

Partindo dessa premissa, inclusive, o antigo Ministério da Integração Nacional (MI), atual Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), através da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), aprovou o Caderno de Orientações para Apoio à Elaboração de Planos de Contingência Municipais para Barragens, objeto da Portaria nº 187, de 26 de outubro de 2016. Tratam-se de planos de contingência voltados especificamente a acidentes envolvendo barramentos, a serem elaborados pelos Municípios, contendo informações sobre rotas de fuga, sistema de alarme, monitoramento e alerta, bem como sobre a realização de treinamentos com o apoio do empreendedor.

Os órgãos ambientais licenciadores integrantes do SISNAMA (Sistema Nacional de Meio Ambiente instituído pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1.981), por sua vez, são responsáveis por licenciar a localização, a instalação, a ampliação e a operação de empreendimentos e de atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas capazes de causar degradação ambiental. Nesse sentido, os estudos exigidos ao longo do processo de licenciamento têm como objetivo a avaliação dos impactos no ambiente em que a atividade ou empreendimento está (ou se pretende estar) inserido, a identificação dos impactos socioambientais inerentes à sua implantação e operação, e a determinação das medidas necessárias para evitá-los, mitigá-los ou compensá-los. Esses estudos não trazem elementos que permitam a análise da segurança de uma barragem, do mesmo modo que os órgãos ambientais não possuem equipe técnica formada para essa finalidade.

Dentro dessa formatação de competências, estabelecida por lei, torna-se questionável a proposta de atuação do órgão ambiental licenciador no estabelecimento de medidas voltadas exclusivamente à segurança de barragens, em especial ao Plano de Ação e Emergência e implantação do sistema sonoro para viabilizar ações de autossalvamento.

c. Instituição de Seguro Contra o Rompimento de Barragem

O Projeto de Lei nº 2791/2019 prevê ainda a possibilidade de ser exigido do empreendedor caução,

seguro, fiança ou outras garantias financeiras ou reais para a reparação dos danos à vida humana, ao meio ambiente e ao patrimônio público em caso de acidentes com barragens.

Apesar de o Projeto de Lei nº 2791/2019 tratar referida exigência como uma faculdade do órgão fiscalizador - enquanto a maioria dos outros projetos apresentados ao Congresso Nacional após os acidentes de Mariana e Brumadinho impõe a obrigatoriedade de contratação de seguro, tendo em vista o clamor público gerado em razão dos desastres, a tendência é que a aludida exigência se torne praxe. Isso porque, a contratação de um seguro pelo empreendedor garantirá a atuação de ao menos mais uma instituição no aferimento das condições de segurança da barragem, a seguradora, mesmo sendo essa uma atribuição do Poder Público.

O objetivo da medida, além de afiançar a fiscalização da segurança da barragem por mais um agente, é também garantir a indenização dos atingidos por eventuais acidentes. Ocorre que a contratação de seguros e garantias nos termos colocados demanda a aplicação de elevadíssimos valores, o que poderá reduzir os investimentos em ações preventivas e corretivas, bem como em ações de monitoramento, as quais deveriam ser exigidas como prioridade quando se trata de segurança de barragens.

Em sua dissertação de mestrado em ciências de engenharia, Andréa Pacheco Terra trata dos produtos disponibilizados pelas seguradoras brasileiras e das dificuldades para sua contratação, dado o elevado valor de mercado [1]:

“No mercado Brasileiro, existem disponíveis dois produtos referentes aos riscos de poluição ambiental: - Poluição súbita: Danos ambientais decorrentes de acontecimentos inesperados, como por exemplo, a quebra de uma válvula, com vazamento de agentes poluidores [...]. - Poluição Ambiental: contempla não apenas a poluição súbita, como também a poluição gradativa, cujas consequências podem levar meses ou até anos para serem descobertas. [...] Além da cobertura para a Poluição Súbita, existe outra específica para a chamada Poluição Ampla. Segundo o IRB Brasil Re, calcula-se que entre 1% e 5% das empresas em todo País tem este tipo de cobertura. O pequeno percentual de empresas com esse tipo de cobertura se explica, em primeiro lugar, pelos custos. Em segundo lugar, é preciso haver confiança entre as partes, pois o segurado deve estar preparado para revelar ao segurador todos os dados necessários à análise de risco (IRB, 2003). A cobertura da Poluição Ampla exige apólice específica, com laudos dos sistemas operacionais, dos locais onde operam e do padrão das instalações. A cobertura é taxada pelo faturamento da empresa. Para a Poluição Súbita ela incide em 20% do faturamento. Para a Poluição Ampla e nas apólices que englobam os dois tipos de cobertura ele é bem maior. Se

a atividade é exposta merece um estudo mais detalhado, que avalie o potencial de risco. Quando há este grande potencial de risco, a seguradora faz a cobertura e ressegura com o IRB Brasil Re que, por sua vez faz o resseguro no exterior. Os laudos são caros, pois é preciso fazer uma radiografia da empresa. A relação custo X benefício em caso de sinistro tem que pesar na decisão da empresa”.

Outro fator relevante a ser considerado antes da imposição da medida é a capacidade de as seguradoras brasileiras absorverem a demanda a ser gerada, já que o Brasil possui inúmeras barragens hidrelétricas e de rejeitos de minérios. Nesse sentido, Andréa Pacheco Terra comenta a situação do mercado de seguros brasileiro [2].

“Por fim, não há a disponibilidade de produtos de seguros eficazes, por parte das Seguradoras Brasileiras, além daqueles já citados na questão um, razão pela qual mantém-se a estagnação do mercado neste segmento. Desde 1993, este mercado vive um impasse. Muito foi estudado, discutido, etc., mas a demanda é quase nula e as seguradoras e as resseguradoras são muito reticentes em contratar este tipo de apólice, opinião de alguns entrevistados. Para outro entrevistado a causa principal são os custos para a realização de Inspeções Prévias de Risco (IPRA), de forma completa. Com uma IPRA de baixa qualidade técnica, as seguradoras e as resseguradoras ficariam muito vulneráveis e os riscos são incomensuráveis. No Brasil não há uma cultura acerca da transferência dos riscos ao mercado segurador. Ainda não há interesse na contratação de seguros de riscos ambientais no Brasil, pois não há interesse por parte das Seguradoras na contratação de tais riscos. [...] Alguns entrevistados fizeram a observação que a entidade seguradora não é uma entidade filantrópica, ela evidentemente visa o lucro, se você tem um negócio que é poluente em potencial você vai ter que pagar um prêmio maior por aquilo porque o seu risco é muito grande, às vezes as pessoas não compram porque sabem que o preço para aquele risco, que é grande, é alto”.

A obrigatoriedade de contratação de seguro de responsabilidade ambiental é amplamente questionada no Brasil. Os argumentos colocados pelos especialistas são no sentido de que o seguro não constitui um tributo, não podendo ser forçada a sua contratação, sendo que o mercado segurador privado nacional não possui condições de oferecer o melhor produto em termos de coberturas, nem mesmo poderia ser forçado a absorver a obrigação, que é de Poder Público, de fiscalizar a regularidade ambiental de atividades poluentes. No mais, por força da liberdade de operação prevista na Constituição Federal, as seguradoras não podem ser obrigadas a oferecer determinado produto [3].

De acordo com Pinheiro Pedro, a obrigatoriedade de contratação do seguro de responsabilidade ambiental no Brasil enfrenta também outras barreiras [4]:

“O quadro legal, no entanto, ainda é conflitante, desestimulando parcela do mercado segurador. A razão decorre da aplicação de regra muito genérica, de responsabilidade civil objetiva, estatuída no parágrafo 1º. Do art. 14 da Lei de Política Nacional do Meio Ambiente – Lei Federal 6.938/1981, instituindo responsabilização do POLUIDOR independentemente de CULPA – seja esta contratual ou extracontratual. A Lei conceitua poluidor como qualquer pessoa, física ou jurídica, responsável “direta ou indiretamente” por atividade que causa degradação ambiental. A amplitude conceitual de quem seja o responsável, aliada ao estabelecimento de mecanismos de indenização ilimitados e sem critérios normativos de como se dariam no caso de reparação do dano, torna o contrato do seguro uma espécie de chute no escuro, com um volume de salvaguardas de parte a parte que praticamente conduz o resgate da cobertura à resolução do conflito no judiciário. A questão do limite da cobertura também é complicada e a margem de segurança para a viabilidade do negócio necessitaria de um mecanismo de regulação contratual firmemente posto entre as partes e com critérios similares aos estabelecidos para a responsabilização na esfera europeia. Assim, o sistema ficaria indene de questionamentos judiciais por elementos externos à relação – como, por exemplo, o Ministério Público”.

Todas essas inseguranças dificultam a imposição da medida de contratação do seguro de responsabilidade ambiental, fazendo com que a norma, caso aprovada pelo Congresso Nacional, tenha aplicabilidade limitada ou venha a inviabilizar vários empreendimentos.

A nosso ver, os desastres de Mariana e Brumadinho justificam o anseio da população brasileira e do Congresso Nacional pelo incremento das normas que regulamentam a segurança das barragens brasileiras. O foco, contudo, precisa ser a prevenção de acidentes, mediante a instituição de técnicas eficientes de manutenção e operação de barramentos e o estabelecimento de uma fiscalização adequada e precisa para cada tipo de empreendimento. É necessário entender as diferenças entre as barragens de geração de energia, rejeitos de minérios e outras e, a partir de elementos técnicos, definir as medidas aplicáveis a cada setor regulado. Ainda que seja necessário estabelecer critérios que permitam a indenização dos impactos causados ao meio ambiente e à comunidade em razão de acidentes, o anseio deve ser pela não ocorrência de novos desastres.

REFERÊNCIAS

- [1] A. P. Terra, “Análise das condições de operação do seguro ambiental no Brasil”, Campos dos Goytacazes, 2005, pp. 33, 42 e 43.
- [2] A. P. Terra, “Análise das condições de operação do seguro ambiental no Brasil”, Campos dos Goytacazes, 2005, pp. 79 e 80.
- [3] A. P. Terra, “Análise das condições de operação do seguro ambiental no Brasil”, Campos dos Goytacazes, 2005, pp. 83 e 84.
- [4] A. F. Pinheiro Pedro, “Seguro Ambiental no Brasil”, disponível em <http://www.ambientelegal.com.br/seguro-ambiental-breve-analise-do-seu-status-nobrasil/>, acesso em 26.07.2019.

Efeito do uso de condicionadores do solo na lixiviação de metais pesados

Ana Segatelli, Tatiane Bosco, Margarida Arrobas, Manuel Rodrigues

Ana Beatriz de Melo Segatelli
Centro de Investigação de Montanha
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
anabsegatelli@hotmail.com

Tatiane Cristina Dal Bosco
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná - Câmpus Londrina
Londrina, Brasil
tatianebosco@utfpr.edu.br

Margarida Arrobas
Centro de Investigação de Montanha
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
marrobas@ipb.pt

Manuel Ângelo Rodrigues
Centro de Investigação de Montanha
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
angelor@ipb.pt

Resumo— A contaminação do solo por metais pesados pode ocorrer de várias formas e resultar em diversas consequências para a saúde humana e para o meio ambiente. Uma delas pode estar relacionada com a utilização de compostos orgânicos provenientes da reciclagem de resíduos sólidos urbanos (RSU) através do processo de compostagem. A aplicação de condicionadores do solo pode ser útil para melhorar as suas características físicas e químicas e diminuir a biodisponibilidade dos metais pesados no solo. Entre este tipo de produto encontram-se o biochar e os zeólitos que, pelas suas características, nomeadamente a sua elevada capacidade de troca catiónica, podem imobilizar cátions, onde se podem incluir os metais pesados. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de biochar e zeólitos na disponibilidade de metais pesados aplicados ao solo na forma de RSU e na forma de uma solução preparada em laboratório. Para isso, instalou-se um ensaio de lixiviação dos metais no solo. A quantidade de metais lixiviada foi acompanhada ao longo de 178 dias, em seis datas. Como resultados principais percebeu-se que o biochar tem maior capacidade de imobilização de metais pesados Pb, Ni e Cr. No caso do Cd a tendência é para maior imobilização por parte dos zeólitos. Verificou-se ainda que, ao longo do tempo, aumenta a disponibilidade de metais pesados no solo devido a fenómenos de mineralização da matéria orgânica nativa do solo. A adição de condicionadores, em particular do biochar, parece ser uma técnica adequada para reduzir a biodisponibilidade de metais pesados, podendo vir a ser usados como materiais de remediação de solos contaminados.

Palavras-chave— metais pesados, contaminação de solos, RSU, zeólitos, biochar.

INTRODUÇÃO

A contaminação do solo por metais pesados pode ocorrer devido a vários fenómenos, naturais ou de natureza antrópica, com consequências que podem ser graves nos ecossistemas tanto para plantas como para animais e seres humanos [1], [2].

Os condicionadores do solo são produtos adicionados ao solo com o intuito de promover a qualidade do solo, nomeadamente as propriedades físicas e químicas em geral, além de poderem contribuir para a libertação gradual de elementos químicos para as plantas ao longo do tempo. Possuem origens diversas, podendo ser obtidos a partir de matéria orgânica, inorgânica ou sintetizada e devem ser aplicados de acordo com as características e necessidades do solo em questão [3] e [4]. Neste estudo deu-se particular ênfase

aos produtos biochar e os zeólitos como condicionadores do solo.

O biochar é o produto sólido obtido através da queima de diversos tipos de biomassa, na ausência ou presença de pequenas quantidades de oxigênio, num processo designado de pirólise [5]. Sua produção tem como objetivo o seu uso em várias situações de que são exemplo: i) a remediação de ambientes contaminados, funcionando como um adsorvente de baixo custo de metais pesados; ii) o tratamento de efluentes; iii) o uso em solos para promover o sequestro de carbono, limitando o seu contributo para o efeito de estufa [6]. O biochar apresenta, em geral, características como grande porosidade e elevada área de superfície, bem como elevada densidade de carga que resulta numa elevada capacidade de troca catiónica (CTC). Por isso, atua na adsorção de iões e na movimentação de água, além de funcionar como habitat para diversos microrganismos. A adsorção de iões é uma função particularmente importante na retenção de poluentes, reduzindo as perdas por lixiviação [5], [7], [8] e os riscos de contaminação de toalhas freáticas.

Já os zeólitos são minerais de aluminossilicatos cristalinos, compostos principalmente por alumínio,

silício e oxigênio, dentre os quais a clinoptilolite é um dos mais conhecidos [9]. A sua estrutura é composta por tetraedros ligados entre si onde 4 iões de oxigénio rodeiam um ião metálico. Esta estrutura contém cavidades abertas e poros que formam canais interligados, normalmente ocupados por água e outros catiões estruturais trocáveis [10] e [11]. Além disso, apresentam também elevada superfície com cargas elétricas (elevada CTC), estabilidade térmica, e estabilidade em diversos ambientes [10], mantendo as suas propriedades por longos períodos de tempo, podendo também ser utilizados como fertilizante de libertação gradual de elementos ou imobilizadores de metais pesados [9]. Possui a capacidade de oxidar o metano, contribuindo para a diminuição da quantidade que está associado ao efeito de estufa. A sua capacidade de reter água em seus poros torna este material útil em ambientes áridos e semi-áridos. Estas propriedades fazem deste condicionador uma esperança para combater os efeitos das alterações climáticas, para além de ser um produto importante para a melhoria das propriedades do solo [12].

Objetivou-se portanto, neste trabalho, avaliar a influência dos condicionadores biochar e zeólitos na biodisponibilidade de metais pesados no solo. Para isso acompanhou-se, por meio de sucessivas lixiviações, a libertação ou retenção dos metais pesados: níquel (Ni), chumbo (Pb), crômio (Cr) e cádmio (Cd), ao longo do tempo, em solo contaminado por metais pesados.

MATERIAIS E MÉTODOS

O ensaio de lixiviação foi instalado no Centro de Investigação de Montanha (CIMO) no Instituto Politécnico de Bragança (IPB), Bragança, Portugal. Foi utilizado um solo com textura franco-argiloso-arenosa (54% de areia, 23% de limo e 23% de argila), de $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ 5,58, com 1,62% de matéria orgânica, CTC 15,00 cmolc kg^{-1} , Ni, Pb, Cr e Cd nas concentrações de 6,88, 2,64, 0,70 e 0,16 mg kg^{-1} , respetivamente. Estes valores de metais pesados no solo justificam-se por se tratar de um solo que já vinha de um ensaio anterior com os mesmos tratamentos. Estes parâmetros foram determinados de acordo com as metodologias em uso na Unidade de Química Analítica da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança (pH numa suspensão 1:5 de solo:solução; matéria orgânica - método Walkley-Black [13]; CTC – extração com acetato de amónio tamponizado a pH 7 [14], com catiões determinados por espectrofotometria de absorção atómica e emissão de chama; metais pesados – extraídos com uma solução de acetato de amónio, ácido acético e EDTA [15] e determinação por espectrofotometria de absorção atómica).

Para o ensaio de lixiviação foram utilizados tubos de PVC com altura aproximada de 20 cm e diâmetro de 4 cm, contendo 200 g de solo passado por um crivo com malha 2 mm. O solo de cada tubo foi retido com uma rede de algodão, presa com um elástico. Para cada tubo

foi utilizado um funil de vidro com papel filtro Whatman® 42 e uma proveta, também de vidro, para a recolha do lixiviado, de acordo com a Fig. 1.

Foram estabelecidos dois ensaios, um com adição de resíduo sólido urbano compostado (RSU) na quantidade de 25 g kg^{-1} e outro com aplicação de uma solução de metais pesados (MP). O biochar e os zeólitos (clinoptilolite) foram aplicados na quantidade de 20 g kg^{-1} . Os tratamentos encontram-se na tabela 1 e foram feitos em triplicata. O RSU apresentava 115, 148, 130 e 2,5 mg kg^{-1} dos metais Ni, Pb, Cr e Cd respetivamente. A lixiviação foi feita inicialmente com 200 mL de água destilada de forma a molhar bem o solo e as lixiviações seguintes foram usados 100 mL de água destilada. Foram feitas 6 lixiviações nos 6, 21, 59, 118, 143 e 178 dias após a montagem (DAM) do ensaio. Em cada data foram analisados os metais Ni, Pb, Cr e Cd, contidos no lixiviado, por espectrofotometria de absorção atómica.

TABELA 1. TRATAMENTOS

Ensaio com RSU	
Solo (S)	
Solo + Nutrientes (S N)	
Solo + Nutrientes + RSU (S N RSU)	
Solo + Nutrientes + B (S N B)	
Solo + Nutrientes + Z (S N Z)	
Solo + Nutrientes + RSU + B (S N RSU B)	
Solo + Nutrientes + RSU + Z (S N RSU Z)	
Ensaio com MP	
Solo (S)	
Solo + Nutrientes (S N)	
Solo + Nutrientes + MP (S N MP)	
Solo + Nutrientes + MP + B (S N MP B)	
Solo + Nutrientes + MP + Z (S N MP Z)	
Solo + Nutrientes + MP + B + Z (S N MP BZ)	

MP: Metais Pesados; RSU: Composto de Resíduo Sólido Urbano; B: Biochar; Z: Zeólitos.

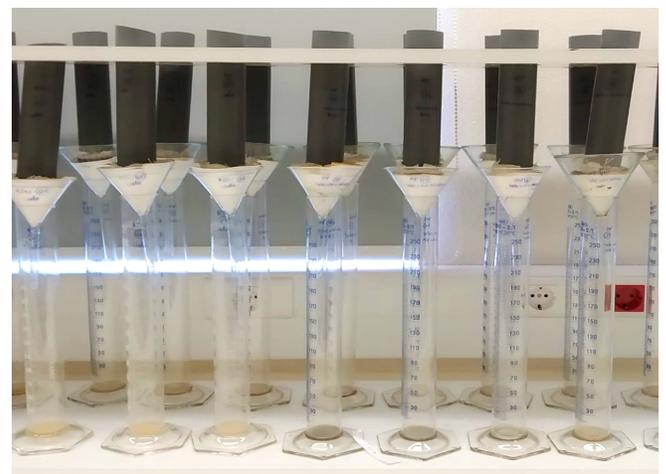


Fig. 1. Parte do Ensaio de Lixiviação.

O ensaio teve início no dia 16 de novembro de 2018 e terminou no dia 20 de maio de 2019, seis meses depois

Antes de colocar o solo nos tubos de PVC, foi incorporado um fertilizante de forma a adicionar 150 mg kg^{-1} de nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O)

em todos os tubos, bem como uma solução de micronutrientes para simular uma adubação completa. Apenas o tratamento ‘Solo’ não levou qualquer tipo de substância a não ser água destilada. Para a contaminação do solo por metais pesados foi utilizada uma solução contendo os metais, de forma a aplicar as quantidades listadas na tabela 2. Nesta tabela encontra-se também o limite admitido por Lei [16] de metais a aplicar ao solo na forma de RSU compostado. Acrescenta-se ainda a quantidade aplicada ao solo com os 25 g de RSU. Os valores de metais aplicados na forma de solução ou de RSU foram substancialmente superiores ao permitido (em média cerca de 5 vezes mais) para acentuar o efeitos da presença dos condicionadores.

TABELA 2. QUANTIDADE DE METAIS PESADOS ADICIONADOS AO SOLO NOS DOIS ENSAIOS.

Elemento	Valor máximo (1) (mg kg ⁻¹)	Quantidade aplicada em (mg kg ⁻¹)	Quantidade aplicada (mg) nas 25 g de RSU
Cd	0,015	0,077	0,063
Cr	1,125	5,624	3,750
Ni	1,500	7,500	2,880
Pb	0,450	2,250	3,700

(1) Valor máximo das quantidades que se podem incorporar por ano nos solos (adaptado do Decreto-Lei n.º 103/2015)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

a. Ensaio com RSU

Após a realização das seis lixiviações e realizadas as análises, foram obtidos os gráficos apresentados nas Fig.2, Fig. 3, Fig. 4 e Fig. 5, respetivamente para os elementos Ni, Pb, Cr e Cd.

A maior quantidade de Ni lixiviada esteve associada aos tratamentos com RSU em 4 das seis datas de lixiviação (Fig. 2).

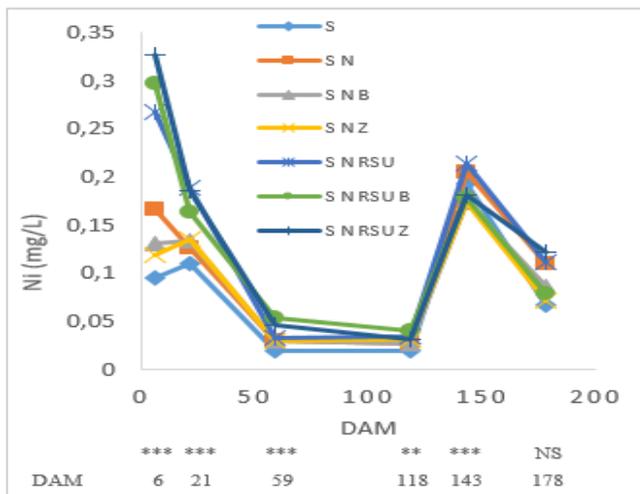


Fig. 2. Concentração de Ni lixiviado ao longo do tempo no ensaio com RSU.

DAM – Dias após o início do ensaio.

Verificou-se uma diminuição dessa quantidade em 4 datas e um aumento significativo 143 DAM (abril), fenómeno que deverá ter estado associado à mineralização de compostos orgânicos nativos do solo. De notar que nesta altura as condições ambientais eram favoráveis à atividade microbiana que deverá ter acelerado o processo. Relativamente à quantidade total de Ni lixiviado, ela foi significativamente superior nos tratamentos com RSU (entre 0,81 e 0,89 mg/L), que não diferiram estatisticamente entre si. Este composto mascarou o efeito da presença dos condicionadores, uma vez que também contribuiu para as trocas iónicas do solo por possuir igualmente elevada CTC [17]. No entanto, comparando com a quantidade adicionada no RSU (2,88 mg kg⁻¹) verifica-se que a quantidade total lixiviada neste período de 6 meses variou entre 28 e 31% da quantidade adicionada, tendo ficado retido à volta de 70%.

No caso do Pb (Fig. 3) a maior quantidade lixiviada esteve genericamente associada à presença de biochar e zeólitos. A quantidade lixiviada foi significativamente superior nas datas 4 e 5, associada à presença de biochar (118 DAM) e de zeólitos (143 DAM). Foram estes tratamentos que acumularam a maior quantidade de Pb lixiviado. Tal comportamento não está de acordo com as observações de outros investigadores [18] que reportam a imobilização de chumbo pelo biochar mas observam também que a adsorção deste metal varia em função do tamanho dos poros do condicionador. De qualquer forma, em relação às 3,7 mg kg⁻¹ adicionadas (Tabela 2), a quantidade lixiviada representou 8,7 (0,32 mg/L no tratamento SN RSU) a 10,8% (0,40 mg/L no tratamento SN RSU B).

O perfil de lixiviação do Cr (Fig. 4) é semelhante ao do Ni. No entanto, em relação à quantidade total lixiviada, ela foi significativamente superior no tratamento que associa RSU e zeólitos (S N RSU Z) desde a primeira data. De qualquer forma também o RSU foi responsável pela introdução de maior quantidade deste metal no solo tendo sido o efeito mais visível em 6 DAM. Na segunda data, a significativamente superior quantidade libertada no tratamento S N RSU Z tornou as diferenças entre os restantes tratamentos não significativas. A percentagem de Cr libertado por lixiviação variou entre 3,7 e 5,6% da quantidade introduzida no solo.

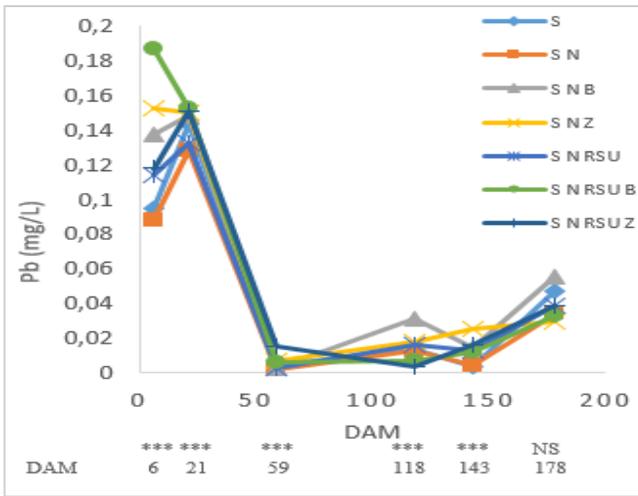


Fig. 3. Concentração de Pb lixiviada ao longo do tempo no ensaio com RSU.

DAM – Dias após o início do ensaio.

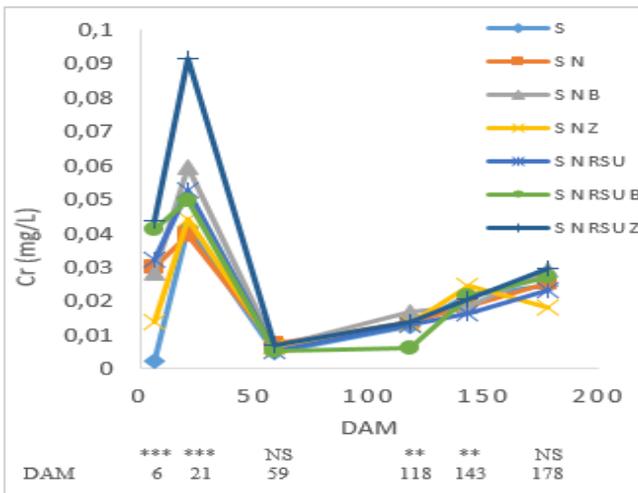


Fig. 4. Concentração de Cr lixiviada ao longo do tempo no ensaio com RSU.

DAM – Dias após o início do ensaio.

O perfil de lixiviação do Cd (Fig. 5) não revela uma influência marcada do RSU na quantidade lixiviada do solo a partir da segunda data. Os valores mais elevados podem estar relacionados com as características do próprio solo e dos nutrientes adicionados que potencializam as trocas de metais nos sítios de troca, nomeadamente na matéria orgânica nativa do solo. Para a quantidade total lixiviada, esta foi significativamente superior no caso do tratamento com RSU (S N RSU). Apesar das quantidades lixiviadas mais baixas, relativamente aos demais metais, de notar que a quantidade lixiviada relativamente à introduzida na forma de RSU teve os valores mais elevados, que variaram entre 63,5% no tratamento com biochar e 95,2% no tratamento com zeólitos (S N RSU Z). Dos elementos estudados, este metal apresentou então a maior mobilidade. De qualquer forma estes resultados

devem ser vistos com precaução, dadas as quantidades muito baixas detectadas.

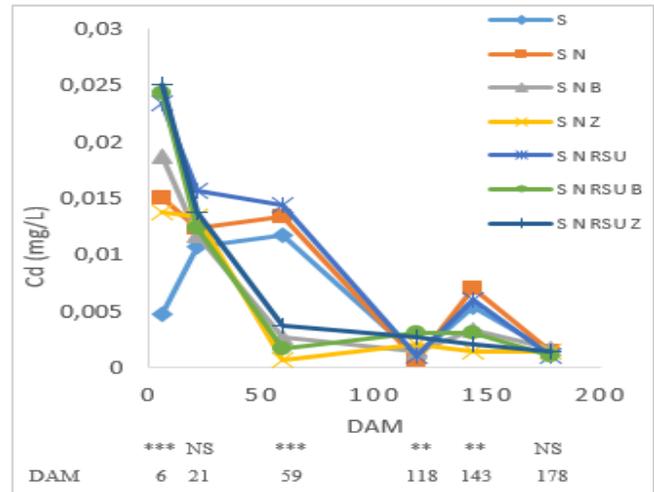


Fig. 5. Concentração de Cd lixiviada ao longo do tempo no ensaio com RSU.

DAM – Dias após o início do ensaio.

De uma forma geral, na ausência de RSU, a presença de zeólitos mostrou retenção dos metais Cd, Cr e Ni que já estavam presentes no solo, o que pode estar relacionado com a de troca de cátions ocasionada pela carga negativa que a presença de Al^{3+} no lugar de Si^{4+} gera em sua estrutura [10]. Esses resultados vão de acordo com o observado por outros investigadores [19] que verificaram que a aplicação de zeólitos não alterou a concentração lixiviada de chumbo, mas obtiveram um efeito significativo na retenção do crómio e do níquel, apresentando este condicionador maior capacidade de imobilização nas três primeiras semanas do ensaio.

Com relação ao biochar, o tratamento S N B também apresentou maior imobilização do Cd e do Ni.

A presença de RSU reduziu a capacidade dos condicionadores na retenção dos metais pesados. Este fenómeno foi já identificado com estando associado à existência de locais dadores de elétrons nas fases orgânicas que podem ser altamente específicos para os metais pesados[20] Percebe-se também que as diferenças mais significativas entre as concentrações lixiviadas (e assim as maiores concentrações lixiviadas pelos tratamentos com RSU) aparecem nas datas iniciais, o que pode ser explicada pelo estado de degradação do composto orgânico e liberação dos metais [21], neste caso Pb, Cd e Cr.

B. Ensaio com Metais Pesados

O perfil da quantidade de Ni lixiviada no ensaio com aplicação da solução de MP ao longo do tempo (Fig. 6) é muito semelhante ao do ensaio com RSU. Como esperado, a maior quantidade lixiviada esteve associada

à adição de metais sem biochar. Verificou-se um efeito significativo da presença deste condicionador na imobilização deste metal, já que, à exceção dos tratamentos sem adição de metais, foi a sua presença que esteve associada à menor quantidade de Ni lixiviado. A imobilização do níquel pelo biochar está de acordo com alguns estudos [22] em que os investigadores observaram que a rápida adsorção de níquel por diversos tipos de biochar é função da difusão intra-partículas, em que as partículas finas de biochar adsorvem os metais pesados mais rapidamente. As características do biochar, como a porosidade, variam de acordo com o material de origem e as características do processo de pirólise [5], com consequências na intensidade dos fenómenos de retenção de metais.

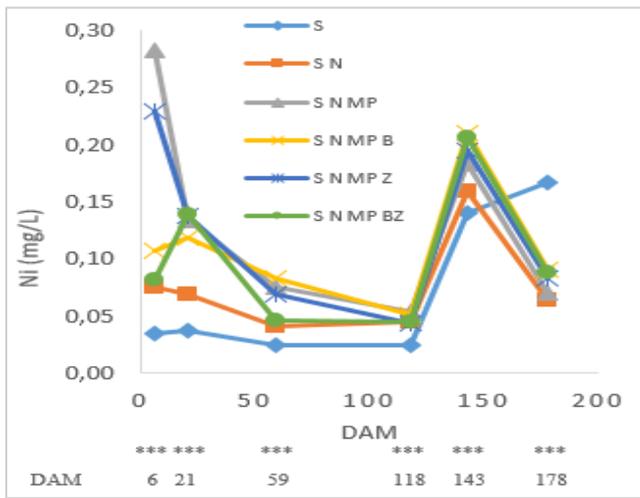


Fig. 6. Concentração de Ni lixiviado ao longo do tempo no ensaio com MP.

DAM – Dias após o início do ensaio.

Quando comparada a percentagem de Ni retido neste ensaio, associado à presença de biochar ou zeólitos, verificou-se que, embora tenha sido adicionada maior quantidade na solução de metais ($7,5 \text{ mg kg}^{-1}$) comparativamente à quantidade aplicada na forma de RSU ($2,88 \text{ mg kg}^{-1}$) nota-se agora um efeito mais acentuado da presença destes condicionadores já que a quantidade lixiviada variou entre 8 (S N MP BZ) e 11% (S N MP Z), valores de perdas por lixiviação substancialmente mais baixos do que no caso do ensaio com RSU.

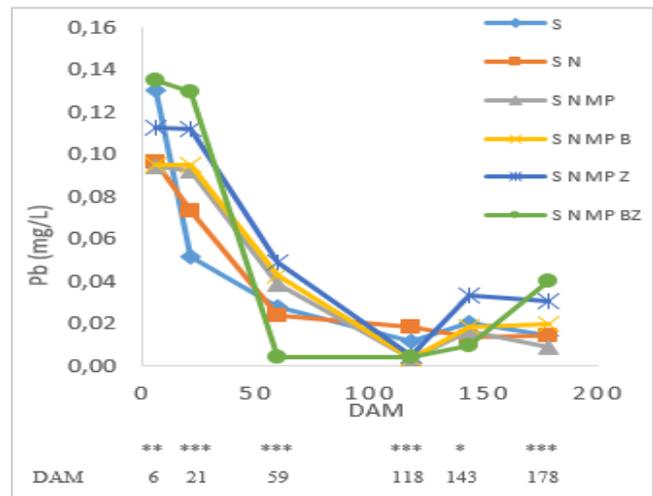


Fig. 7. Concentração de Pb lixiviado ao longo do tempo no ensaio com MP.

DAM – Dias após o início do ensaio.

Este efeito repetiu-se no que respeita ao chumbo, com o biochar a controlar a quantidade lixiviada deste metal (Fig. 7). Os tratamentos com presença de zeólitos originaram os valores significativamente mais elevados. Outros autores [23] também observaram a imobilização dos metais pesados pelo uso do biochar em seus estudos, apresentando uma concentração 3,8 vezes menor de Pb que no solo controle. A quantidade total lixiviada representou valores que variaram entre 11,1% (S N MP B) e 15,4% (S N MP Z) da quantidade adicionada na solução de metais. De notar que a quantidade lixiviada em S N MP B não foi significativamente diferente dos tratamentos com e sem adição de metais pesados, resultado relacionado com a já identificada presença dos metais no solo.

Para o Cr percebe-se um comportamento menos uniforme, se comparado aos outros metais (Fig. 8).

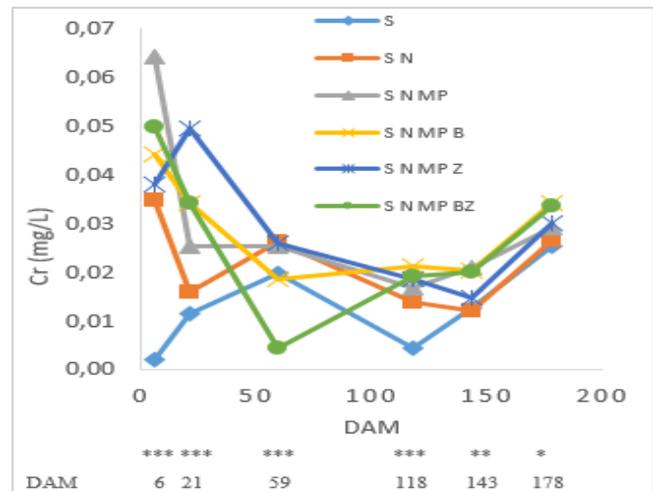


Fig. 8. Concentração de Cr lixiviado ao longo do tempo no ensaio com MP.

DAM – Dias após o início do ensaio.

Este comportamento poderá estar relacionado com o valor de pH deste solo (5,8) já que em solos com pH acima de 5,5, o Cr se torna mais solúvel [23]. A quantidade total lixiviada foi significativamente menor nos tratamentos S e S N. Mesmo assim, a quantidade total lixiviada variou entre 2,8 e 3,2% da quantidade adicionada, o que revela um elevado poder de imobilização quer do solo quer dos condicionadores em foco.

Com respeito ao Cd (Fig. 9), a concentração deste metal também foi significativamente inferior nos tratamentos sem aplicação da solução de metais. Percebe-se que na primeira lixiviação, o tratamento S N MP apresentou a maior quantidade de Cd lixiviada. Já ao final do experimento, todos os tratamentos apresentaram comportamento semelhante. Na quantidade total lixiviada, o tratamento com biochar (S N MP B) apresentou a menor concentração, se comparada aos tratamentos com adição de metais indiciando algum efeito de retenção deste metal. Mas à semelhança dos resultados registados no ensaio com RSU, este elemento também foi o que sofreu maior lixiviação (entre 65% em S N MP B e 78% em S N MP BZ, a par de S N MP).

Alguns autores [19] referem que a textura do solo apresenta grande importância na redução do Cd^{2+} , de forma que solos argilosos apresentaram maior retenção deste metal que solos arenosos. Outros [24] afirmam que, de acordo com seus estudos, pelo uso do biochar, a redução da concentração de Cd foi de 2,5 vezes maior que no tratamento sem biochar. Este solo possui uma quantidade significativa de areia (54%) o que pode justificar a mobilidade deste metal neste solo.

Parece pois verificar-se um efeito cumulativo da ação dos condicionadores zeólitos e biochar com o da presença de matéria orgânica nativa do solo que resulta na imobilização efetiva dos cátions metálicos Ni, Cr, Pb e Cd.

A imobilização dos metais pesados e redução da sua biodisponibilidade no solo é de suma importância, pois evita a absorção pelas plantas, além da poluição de aquíferos subterrâneos. Acresce o valor de pH deste solo que, sendo pouco ácido, apresenta condições químicas para a precipitação/adsorção dos metais pesados pelas cargas negativas não só da matéria orgânica nativa mas da matéria orgânica adicionada que encontram neste ambiente condições favoráveis à ionização de grupos carboxílicos, aumentando o pH e criando oportunidades de adsorção de uma quantidade substancial de metais pesados [25].

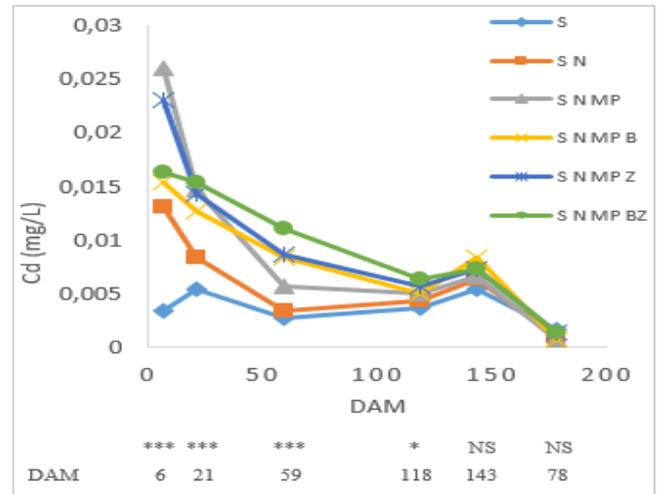


Fig. 9. Concentração de Cd lixiviado ao longo do tempo no ensaio com MP.

DAM – Dias após o início do ensaio.

CONCLUSÕES

A adição de RSU ao solo contribuiu com uma concentração significativa de Ni lixiviada.

A presença de RSU no solo aumenta a quantidade de cargas disponíveis para as trocas iônicas e mascara a presença de zeólitos e biochar.

Verifica-se uma diminuição da quantidade de metais pesados libertados ao longo do tempo (até 148 DAM) ao que se segue um ligeiro aumento que deverá estar associado a processos de mineralização da matéria orgânica nativa e que estão em curso no solo, resultando na libertação de metais previamente retidos.

De um modo geral, o biochar parece imobilizar os metais durante mais tempo. No caso do Cd parece verificar-se uma menor imobilização em presença de biochar. No entanto, relativamente às quantidades adicionadas, foi o Cd que mostrou uma grande mobilidade no solo, apresentando a taxa de lixiviação maior.

Os resultados levam a crer que os condicionadores, em particular o biochar, poderão ser um produto adequado para a remediação de solos contaminados.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Investigação de Montanha por ter financiado este trabalho através do projeto UID/AGR/00690/2017, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia

REFERENCIAS

- School of Integrative Plant Science (SIPS). Comprehensive Assessment of Soil Health. The Cornell Framework. Cornell University, 5 ed. 2017.
- Selim, H. M. Dynamics and Bioavailability of Heavy Metals in the Rootzone. CRC Press, 2011.
- M. Cooper, A. R. Zanon, M. Y. Reia, R. W. Morato. Compostagem e Reaproveitamento de Resíduos Orgânicos Agroindustriais: teórico e prático. Série Produtor Rural, Edição Especial. Piracicaba: USP/ESALQ, 2010. 35 p.
- A. Wallace e R. E. Terry, Handbook of Soils Conditioners: substances that enhance the physical properties of soil. New York: Marcel Dekker, Inc. 1998.
- J. Lehmann e S. Joseph, Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation. 2 ed. Derby: Saxon Graphics Ltd, 2015.
- J. M. Patra, S. S. Panda and N. K. Dhal. 2017. Biochar as a low-cost adsorbent for heavy metal removal: A review. International Journal of Research in Biosciences Vol. 6 Issue 1, pp. 1-7.
- A. Downie, A. Crosky, P. Munroe, Physical Properties of Biochar. In: J. Lehman, S. Joseph, S. Eds, Biochar for Environmental Management: Science and Technology, Earthscan, London. P. 12-32. 2009.
- F. Verheijen, S. Jeffery, A. C. Bastos, M. Van der Velde, I. Diafas, Biochar application to soils: a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. JRC Scientific and Technical Reports, 2010.
- K. Ramesh; D.D. Reddy. 2011. Chapter Four. Zeolites and their potential uses in agriculture. Advances in Agronomy. 113: 219-241.
- D. L. Bish, D. W. Ming, Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications, Reviews in Mineralogy, v. 45. 2001.
- B. Jha, D. N. Sing, Basic of Zeolites. In: Fly Ash Zeolites, Springer Science+Business Media Singapore, 2016.
- Rob Jordan. 2019. Stanford Researchers outline vision for profitable climate change solution.
- D. W. Nelson, L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In* Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods-SSSA. Book series nº 5.
- Van Reeuwijk. 2002. Procedures for soil analysis. Technical Paper 9. ISRIC. FAO.
- E. Lakanen, & R. Ervio, (1971). A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. Acta Agr. Fenn(123), p. 223-232
- Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho. Diário da República nº 114/2015 – Série I. Ministério do Ambiente, Lisboa.
- I. A. Mirsal, 2008. Soil Pollution. Origin, monitoring remediation. 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin.
- J. Konkieni, E. Baltreinaite, Biochar as adsorbent for removal of heavy metals ions [Cadmium (II), Cooper (II), Lead (II), Zinc (II)] from aqueous phase. Int. J. Environ. Sci. Technol. (2016) 13:471-482.
- Mirzaei S. M. J., Heidarpour M., Tabatabaei S; H., Najafi P., Hashemi S. E., Immobilization of Leachate's heavy metals using soil-zeolite column. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 2:20, 201.
- W. Heredia, P. Peirano, G. Borie, M. Aguilera (2002). Soil organic matter-metal interaction in Chilean volcanic soils under different agronomic management. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 33:13-14, 2083-2099.
- J. Singh, A. Kalamdhad, Bioavailability, Leachability, Chemical Speciation, and Bioremediation of Heavy Metals in the Process of Composting. CRC Press, 2019.
- Z. Shen, Y. Zhang, O. McMillan, F. Jin, A. Al-Tabaa, Characteristics and mechanisms of nickel adsorption on biochars produced from wheat straw pellets and rice husk. Environ Sci Pollut Res (2017) 24:12809-12819.
- M. Haroun, A. Idris, S. Omar. 2009. Analysis of heavy metals during composting of the tannery sludge using physicochemical and spectroscopic techniques. Journal of Hazardous Materials 65: 111-119.
- Houben D., Evrard L., Sonnet P., Mobility, Bioavailability, and pH-dependent Leaching of Cadmium, Zinc and Lead in a Contaminated Soil with Biochar. Chemosphere, 92. 1450-1457. 2013.

Estudio de demanda térmica de sistema de cocido de corcho para futura integración de sistema de energía solar de media temperatura

Lozano, Mateos, Galván, Borrego, Córdoba, Calvo

M.J. Trinidad – Lozano
Instituto del Corcho, la Madera y el
Carbón Vegetal
CICYTEX
Mérida, España
mariajose.trinidad@juntaex.es

R. García – Mateos
Instituto del Corcho, la Madera y el
Carbón Vegetal
CICYTEX
Mérida, España
raquel.garcia@juntaex.es

M. Fernández – Galván
Instituto del Corcho, la Madera y el
Carbón Vegetal
CICYTEX
Mérida, España
matilde.fernandez@juntaex.es

S. Cuéllar – Borrego
Instituto del Corcho, la Madera y el
Carbón Vegetal
CICYTEX
Mérida, España
santiago.cuellar@juntaex.es

F.J. Yuste – Córdoba
Instituto del Corcho, la Madera y el
Carbón Vegetal
CICYTEX
Mérida, España
francisco.yuste@juntaex.es

A.J. Montero – Calvo
Instituto del Corcho, la Madera y el
Carbón Vegetal
CICYTEX
Mérida, España
adrian.montero@juntaex.es

Keywords—*corcho, proceso de cocido, energía térmica*

INTRODUCCIÓN

España cuenta con un gran número de industrias en cuyos procesos industriales se demandan grandes cantidades de energía térmica para producción de vapor o agua a altas temperaturas. Destacan la industria láctea, la textil, papelería, química, minera, donde se dan procesos de esterilización, secado, blanqueo y otros, cuyos rangos de temperaturas de proceso oscilan entre los 100°C y los 200°C [1].

El coste de la producción de dicha demanda térmica supone para estas industrias un gran coste económico a afrontar que variará según el rango de temperatura necesario en el proceso. Dependerá también del emplazamiento de la industria según la zona climática, y guardará una estrecha relación con la fuente energética utilizada (véase gas natural, electricidad, fuel oil, gasóleo, biomasa...). Solo un pequeño porcentaje de esa demanda procede de energías renovables [2].

En las últimas décadas se ha avanzado mucho en el estudio de aplicación de energías renovables con el objeto de reducir el consumo de combustibles de origen fósil en la generación de calor de proceso industrial y una de las energías que se barajan como principal alternativa es la energía solar térmica [1]. Además se han desarrollado en los últimos tiempos diferentes tecnologías solares que permiten alcanzar las temperaturas mencionadas en diferentes procesos industriales. De manera que, en la actualidad, los sistemas térmicos solares a baja y media temperatura pueden llegar a cubrir una parte considerable de la demanda industrial de calor [3]. Pese a ello, la aplicación de esta tecnología solar a aplicaciones industriales ha sido hasta la fecha algo puntual y prácticamente esporádico, puesto que no se trata solo

de avanzar en la investigación y desarrollo de nuevas soluciones, sino que las mismas sean además fiables técnicamente y rentables económicamente para los industriales [1]

Existen iniciativas como la de la Plataforma Protermo Solar [4], que ha hecho diferentes estudios para discernir cual es el potencial real de utilización de la energía solar térmica para producción de calor en procesos industriales, no sólo teniendo en cuenta la viabilidad técnica (dependiente de términos de temperatura, presión o perfil de consumo) sino manejando también condicionantes económicos (como por ejemplo disponibilidad de fuentes de energía de bajo coste o disponibilidad de superficie) [5]. En dichos estudios, se analizan caso a caso, diferentes sectores estratégicos de España, como son el de alimentación y bebida, agricultura y ganadería, papel y textil, químico, lavanderías, minería y tratamiento de aguas [6].

Sin embargo, no se encuentra en bibliografía información suficiente sobre otros sectores industriales o agroindustriales de importancia en Extremadura. Por ello en el proyecto de Cooperación Transfronteriza España-Portugal IDERCEXA [7], se ha realizado un estudio sectorial a 45 industrias más representativas de la región EUROACE (35 en España y 10 en Portugal), que posteriormente recibirán asesoramiento sobre el potencial de mejora de la eficiencia energética y/o ahorro de consumos, mediante la instalación de equipos/servicios basados en las tecnologías energéticas innovadoras, entre las que se encuentra la tecnología solar de concentración de media temperatura. Dentro de los sectores analizados se encuentra el sector corchero, de gran importancia para la región EUROACE, ya que, entre Portugal y España se encuentra más del 70% de la producción mundial de corcho [8].

La industria corchera se puede clasificar en dos grandes grupos: primera transformación, que se corresponde con la industria preparadora, y segunda transformación, que incluye el resto de industrias: taponera, granulados, aglomerados, y revestimientos [9]. Es en la industria preparadora donde tiene lugar el proceso de cocido de corcho que tiene un requerimiento de energía térmica para calentar el agua utilizada en las calderas de cocción. Hasta hace unos años, la gran mayoría de industrias corcheras, utilizaba como combustible leña para lograr el aporte térmico necesario para alcanzar (y mantener) la temperatura del agua de cocción entre los 95oC y los 100oC [8]. Sin embargo actualmente, la mayoría de ellas han adaptado los hogares de las calderas y han instalado quemadores de pellets de madera como fuente de producción térmica, así se controla automáticamente la temperatura del agua de cocción y el consumo de combustible, pero sigue sin automatizarse y controlarse otros parámetros del proceso.

Para poder simular y analizar la viabilidad técnica y económica de un concentrador solar de media temperatura en el proceso de cocción de corcho, hace falta previamente conocer en detalle algunas características del proceso como son el perfil de consumo de pellet, el consumo de agua, el perfil de temperaturas de la caldera, perfil de la temperatura de agua introducida en la caldera y rangos de temperatura, de los que actualmente no se dispone.

En este trabajo se realiza un análisis del proceso de cocido del corcho determinando todas las variables anteriores, así como la demanda energética asociada a las diferentes fases de la tarea de cocido.

◦MATERIALES Y MÉTODOS

a. Descripción de Industria Corchera seleccionada

Se ha procedido a la selección de una empresa corchera para la instalación de un sistema de adquisición y registro de datos. Esta empresa es una industria preparadora tipo, especializada en la producción de tapones de corcho natural. Se ha elegido esta empresa por la disponibilidad del industrial a facilitar el montaje de los equipos necesarios en su fábrica, y además porque cuenta en sus instalaciones con una caldera de cocción mediana-pequeña muy accesible para la instalación de los equipos necesarios para las mediciones oportunas.

Las aguas de cocido se cambian regularmente, en una vez o en renovación continua, al menos 2 veces por semana, cuando el funcionamiento es continuo, y después de cada parada de 1 día, según se recomienda en el Código Internacional de Practicas Taponeras CIPT [10]. El proceso se repite cíclicamente durante cada jornada laboral, llegando a repetirse hasta siete u ocho veces diarias. Durante este proceso hay que reponer agua debido, por un lado, a las mermas que se producen por la evaporación debida a alcanzar la

temperatura de ebullición, y por otro a la absorción de agua por parte del corcho durante el cocido.

Las características de la industria son las siguientes:

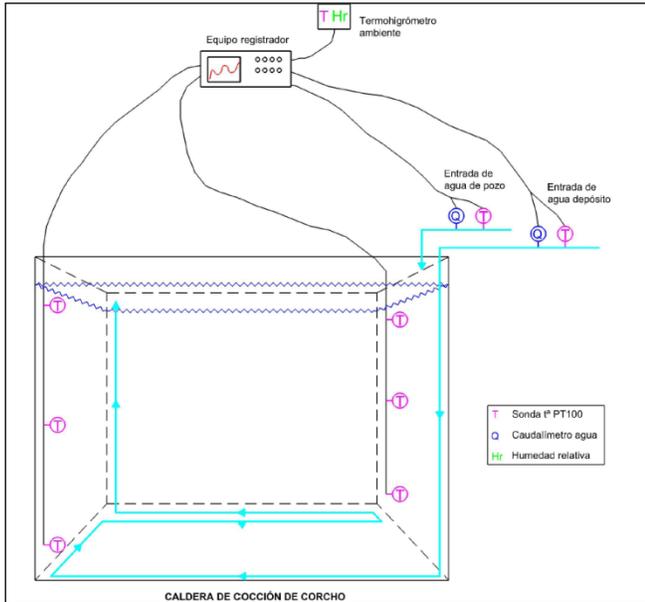
DIMENSION CALDERA	2,25 x 1,5 x 3 (10,12 m3)	
VOLUMEN AGUA CALDERA (descontando volumen corcho)	6.000 litros	
REGIMEN DE FUNCIONAMIENTO	8 horas/día	5 días/semana
FUNCIONAMIENTO ANUAL	10 meses/año	
HORARIO DE FUNCIONAMIENTO	07:30 a 13:00 / 14:30 a 17:00	
GENERADOR TERMICO	Quemador de Pellets	
POTENCIA (Kw)	140/300 kw	
ETAPAS DE POTENCIA PROGRAMADAS	300kw – 200kw – 140kw	
CONSUMO PELLETS (kg/h)	27/70kg/h	

b. Sistema de adquisición de datos

El sistema de registro de datos del proceso, ha supuesto la instalación de los siguientes elementos principales: contador de agua, sondas PT-100, termohigrómetro, armario eléctrico y registrador. El esquema de instalación es el que se muestra en la Figura 1.

Se han instalado seis sondas de inmersión PT 100 para la medición de las temperaturas en el vaso de cocción: dos sondas a 20 cm de la superficie del agua, dos sondas a media altura (aproximadamente a 1,30 cm de profundidad) y dos sondas a 20 cm del fondo del recipiente, para disponer de las temperaturas a distintos niveles del vaso de cocción. Se han elegido las sondas de inmersión PT100, ya que son unas de las más utilizadas y conocidas de entre los detectores de temperatura resistivos (RTD) [11]

El Termohigrómetro instalado es un transmisor combinado de temperatura y humedad relativa. Se han montado dos contadores, ya que el recipiente de cocción tiene dos tuberías de llenado procedentes de un pozo de sondeo y de un depósito exterior. Y se ha instalado un registrador MultiCon CMC 99 que es un indicador, registrador y controlador capaz de registrar datos de 12 canales. Para poder tratar y visualizar los datos grabados con el registrador se cuenta con el software de gestión - DAQ Manager.



Esquema de instalación completa

c. Medición de variables

Con el sistema instalado se pueden obtener datos de las siguientes variables:

CANALES DE MEDICION	Variable	Unidades
Sonda Tª PT100 Inferior izquierda	Tª _{i1}	°C
Sonda Tª PT100 Inferior derecha	Tª _{i2}	°C
Sonda Tª PT100 Intermedia izquierda	Tª _{m1}	°C
Sonda Tª PT100 Intermedia derecha	Tª _{m2}	°C
Sonda Tª PT100 Superior izquierda	Tª _{s1}	°C
Sonda Tª PT100 Superior derecha	Tª _{s2}	°C
Volumen Contador Agua Depósito	V _{dep}	Litros
Volumen Contador Agua Pozo	V _{pozo}	Litros
Sonda Tª PT100 Agua Pozo	Tª _{pozo}	°C
Sonda Tª PT100 Agua Depósito	Tª _{dep}	°C
Termohigrómetro_Temperatura Ambiente	Tª _{amb}	°C
Termohigrómetro_Humedad Relativa Ambiente	Hr	%

Los datos utilizados en esta experimentación se han recogido durante los meses de marzo, abril y mayo, hasta que la industria corchera ha finalizado su operación. El sistema toma los datos en cada uno de los canales cada 30 segundos, en continuo desde que se pone en marcha.

Además para poder completar el perfil térmico del proceso se necesita conocer, el consumo de combustible y los datos de producción, por ello en el periodo referenciado se han tomado datos manualmente, algunos obtenidos del panel de control del quemador de pellets, como es el consumo diario de los mismos, y otros tomados a pie de caldera según el funcionamiento de la industria. Son los siguientes:

DATOS TOMADOS MANUALMENTE REGISTRADOR QUEMADOR DE PELLETS	Variable	Unidades
Consumo Pellets Diario	M _{pellet}	kg
Nº calderadas de cocción	Cald	ud
Kilos corcho por cocción	Corcho	kg
Poder Calorífico Pellet	Pc	5.22 kwh/kg

Se ha obtenido el volumen de agua total utilizada en el proceso de cocción por día (V_t), partiendo de los volúmenes contabilizados en los contadores de agua desde el inicio de la jornada hasta el fin de la misma calculado a través de la ecuación (1). Y también se ha calculado el consumo energético diario (kWh), partiendo del consumo de pellet (kg) y el poder calorífico de los mismos (kwh/kg) a través de la ecuación (2).

$$V_t(\text{litros}) = (V_{dep f} - V_{dep i}) + (V_{pozo f} - V_{pozo i}) \quad (1)$$

$$\text{Consumo energético diario (kWh)} = M_{pellet} \cdot Pc \quad (2)$$

De entre los datos recogidos, se ha elegido una semana tipo de proceso en el mes de marzo, en concreto la semana del 11 al 15 de marzo, en la que la industria ha realizado el proceso de cocción todos los días con un número estándar de cocciones/día, para determinar la demanda térmica del agua de cocción. Para ello se parte de los volúmenes de agua añadidos durante cada calderada (V_i) en cada día de la selección. Y el incremento de temperatura al que ha tenido que hacer frente dicho volumen, obtenido como la media de los incrementos de temperatura de las sondas instaladas.

La demanda térmica por calderada (D_{calderada}) a lo largo de cada día de proceso, se obtiene como la suma de la demanda térmica del agua en caldera (D_{caldera}), la demanda térmica del agua nueva de renovación procedente de pozo (D_{renov pozo}) y la demanda térmica del agua nueva de renovación procedente de depósito (D_{renov depos}) según las fórmulas (3), (4), (5) y (6).

$$(D_{calderada}) = (D_{caldera}) + (D_{renov pozo}) + (D_{renov depos}) \quad (3)$$

$$(D_{renov pozo}) = (V_{pozo}) \cdot \rho \cdot Cp \cdot (100^\circ\text{C} - \sum_{i-n} T_{pozo}^a / n) \quad (4)$$

$$(D_{renov depos}) = (V_{dep}) \cdot \rho \cdot Cp \cdot (100^\circ\text{C} - \sum_{i-n} T_{dep}^a / n) \quad (5)$$

$$(D_{caldera}) = (6000 - V_{dep} - V_{pozo}) \cdot \rho \cdot Cp \cdot \Delta T_{medio}^a \quad (6)$$

P. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1. se presentan los resultados de consumo de pellets, cantidad de corcho cocido en proceso, consumo energético y volumen de agua utilizada en el proceso. Se observa cómo el consumo energético y por tanto el consumo de pellet es estable cada día de la semana para una producción estable de corcho cocido. También se observa que el volumen de agua utilizada diariamente en el proceso es muy superior, prácticamente el doble de la capacidad de agua en caldera (estimado en 6000 litros), con lo que diariamente se calientan prácticamente el doble de litros de la capacidad de la misma, llegando algunos días como puede observarse hasta un máximo de 13.730 litros.

MARZO	Día	Calderada	Mpellet (kg)	Corcho (kg)	Vt(l)	Consumo Energético (kWh)
Domingo	10	Calentamiento	135		326	705
Lunes	11	8	501	6.400	12.670	2.615
Martes	12	8	514	6.400	12.685	2.683
Miércoles	13	8	511	6.400	13.730	2.667
Jueves	14	8	492	6.400	12.822	2.568
Viernes	15	8	477	6.400	10.696	2.490
Total		40	2.630	32.000	62.929	13.729

Tabla 1. Consumos de pellet, agua y energía

En el Gráfico 1. se observa la distribución del volumen por calderada, y también la duración de las mismas, para un día seleccionado de la semana elegida. Se han realizado ocho calderadas de cocción de corcho, las cuales han durado más de una hora cada una de ellas, llegando la calderada número 7 al máximo de duración de 1:28 horas, es decir, 28 minutos más del mínimo que marca el CIPT[10], esto es debido a que el industrial comienza a contabilizar la hora de cocción cuando el agua empieza a ebullición a temperaturas ya cercanas a los 100°C . Además se observa que el volumen de agua medio empleado por calderada es de 1.415 litros, aun teniendo picos de volumen máximo por calderada de 2.131 litros y mínimos de 800 litros.

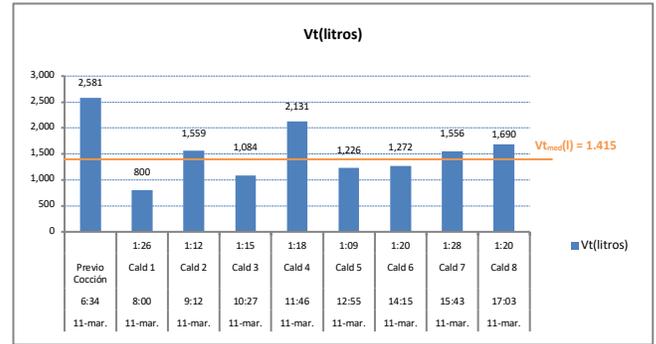


Gráfico 1. Duración de calderadas de cocción y volumen por calderada

En el Gráfico 2. se observa la variación de temperaturas máximas y mínimas durante cada proceso de cocción de las sondas colocadas a altura media de la caldera. Comprobando cómo realmente en cada una de las calderadas, el agua llega a temperatura de ebullición con máximos de 100,19°C, y evidenciando que la misma no se mantiene constante sino que fluctúa en cada cocción, debido a la introducción del corcho y al volumen de agua añadido. Destaca la temperatura mínima que tiene el proceso al inicio de la primera calderada de 89,62°C. Previamente al inicio de la primera cocción, la temperatura era mucho menor, de 79,20°C, de ahí que durante varias horas antes de las 6:34 que es cuando inicia la primera calderada, el quemador haya estado funcionando para poder elevar la misma hasta 92,61°C, una temperatura ya razonable para comenzar la primera cocción.

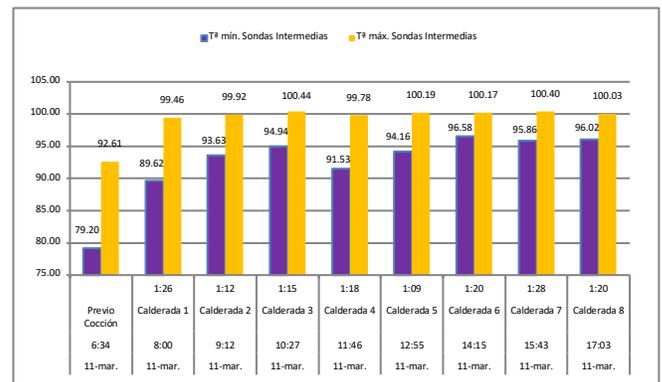


Gráfico 2. Temperaturas máximas y mínimas durante cocción.

En el Gráfico 3. se observa como el salto térmico medio que se produce en la caldera es de 6,83°C.

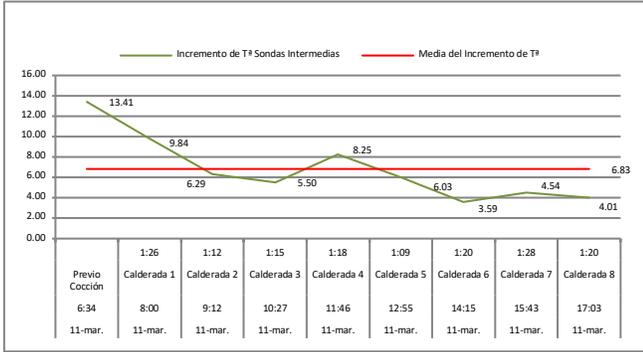


Gráfico 3. Incrementos de temperaturas en el vaso de cocción.

En el Gráfico 4. se observa la relación que guarda el volumen de agua añadido a temperatura ambiente y la variación de temperatura que se produce en el vaso de cocción. Se ve que ambos perfiles guardan relación, lo que hace entender que la variación de la temperatura del proceso esta íntimamente relacionada con el volumen de agua aportado.

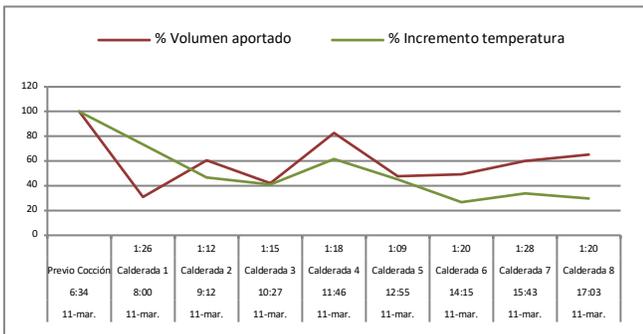


Gráfico 4. Relación de volúmenes de agua e incrementos de temperatura.

En el Gráfico 5. se presentan los valores de la demanda térmica del proceso, diferenciando su procedencia, según se trate de agua procedente del pozo, agua procedente del depósito o el agua que ya existe en el interior de la caldera. Como se puede observar en dicho gráfico, la mayor demanda energética proviene de la entrada de agua del depósito, pudiendo deberse o bien a unos mayores volúmenes de agua a calentar o a un mayor salto térmico necesario para conseguir la temperatura requerida.

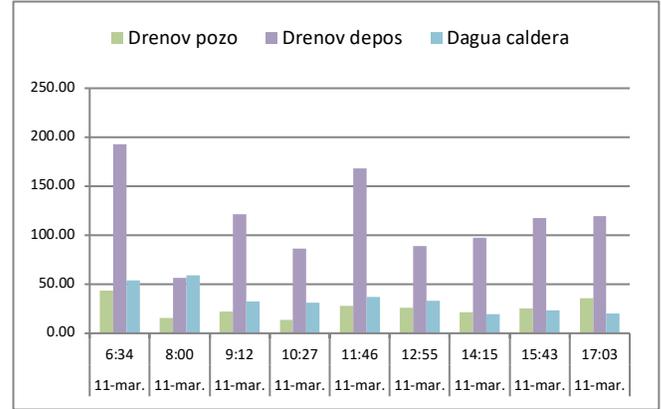


Gráfico 5. Demandas térmicas

Como se puede observar en el Gráfico 6. el volumen de agua procedente del depósito no es la mayor masa de agua a calentar, ya que el agua existente en la caldera es superior.

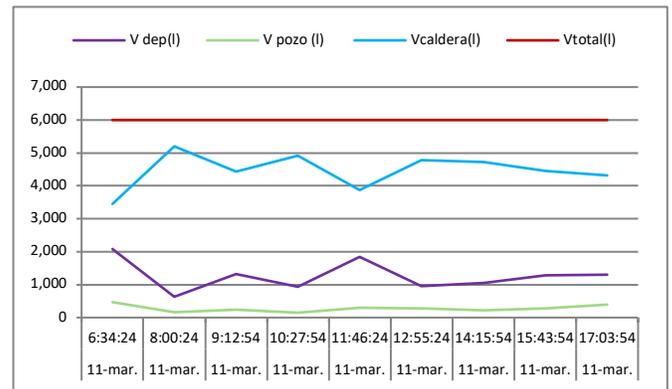


Gráfico 6. Volúmenes de aporte

De ambos gráficos se extrae que la mayor demanda energética del agua del depósito es debido al salto térmico necesario, de aproximadamente 80°C, desde la temperatura del agua en el depósito (temperatura media de 20°C) hasta los 100°C requeridos en el proceso.

Volviendo a la semana en estudio en la Tabla 2. se muestra una comparación entre el consumo energético del proceso, obtenido a partir de los datos de consumo del quemador, frente a la demanda energética del proceso calculada a partir de los datos obtenidos en esta experimentación. Como se observa el consumo energético es superior a la demanda térmica, con lo que se puede establecer un porcentaje de pérdidas del proceso, que según el desarrollo del mismo, varía entre el 31,78% y el 53,80%.

MARZO	Día	Consumo Energético Diario (kWh)	Demanda Energética Diaria (kWh)	Pérdidas del proceso (%)
Lunes	11	2.615	1.783,90	31,78
Martes	12	2.683	1.487,43	44,56
Miércoles	13	2.667	1.420,60	46,73
Jueves	14	2.568	1.371,89	46,58
Viernes	15	2.490	1.379,53	44,60
Media diaria		2.605	1.488,67	42,85

Tabla 2. Pérdidas del proceso

4 CONCLUSIÓN

Las conclusiones más relevantes que se pueden obtener de este trabajo son las siguientes:

-El sistema de medición de datos ha cumplido con las expectativas para lo que se instaló. Se ha podido conocer los perfiles de volúmenes y temperaturas involucrados en el proceso que previamente se desconocían.

-A partir de los datos anteriores se han podido verificar los saltos térmicos para los diferentes volúmenes de agua involucrados, lo que ha facilitado conocer la demanda térmica total del proceso y su procedencia, para determinar dónde se debe de realizar el esfuerzo para la reducción de dicha demanda mediante la introducción de energías renovables.

-De los valores de las diferentes demandas térmicas, se extrae en conclusión que para reducir la mayor de ellas, hay que reducir el salto térmico producido en esa masa de agua, en concreto se trata del agua procedente del depósito de acumulación de agua existente en la fábrica.

-Por todo lo anterior, el sistema de energía solar térmica de media temperatura que se pretenda diseñar para reducir la demanda térmica, debe calcularse para reducir el salto térmico producido en dicha agua.

REFERENCES

- [1] “ Mercado potencial en españa y aplicaciones en tecnologías solares de concentración de media temperatura” Plataforma Tecnológica SOLAR CONCENTRA. Diciembre 2015
- [2] European Commission, “Heating and Cooling in the EuropeanEnergy Transition. Challenges and Facts”, Brussels, 2015
- [3] Idae y Aguasol Ingeniería, “Proyecto Poship. Calor solar para procesos industriales”, Era solar: Energías renovables, ISSN 0212-4157, N°. 108, 2002, págs. 42-45
- [4] <https://www.protermosolar.com>
- [5] Solar Concentra, Solatom, “Estudio geolocalizado del potencial de aplicaciones de calor solar de proceso en media temperatura”, Octubre 2017
- [6] Solar Concentra, Solatom, “Segundo estudio geolocalizado del potencial de aplicaciones de calor solar de proceso en media temperatura”, Julio 2018
- [7] Proyecto “Investigación, Desarrollo y Energías Renovables para la mejora del tejido empresarial en Centro, Extremadura y Alentejo-IDERCEXA” cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional FEDER a través del Programa Interreg V-A España-Portugal (POCTEP) 2014-2020. <https://idercexa.eu>
- [8] “Manual didáctico del taponero”, Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón (Extremadura) / FUNDECYT; ISBN 978-84-95251-05-3; Enero 1999.
- [9] Manuel Alejandro Martínez Cañas; Ramón Santiago Beltrán; María José Trinidad Lozano.”Producción e Industrialización del corcho en Extremadura. LA AGRICULTURA Y LA GANADERIA EXTREMEÑAS” Informe 2012, pp. 147 - 159. Badajoz, Extremadura (España): Caja de Ahorros de Badajoz, 01/11/2013. ISBN 978-695-8773-7
- [10] Código Internacional de Prácticas Taponeras CIPT
- [11] J. Vargas, C. Almanza, J. Guapacho «Sistema de instrumentación virtual utilizando un sensor RTD Experimental», Ingenium, vol. 17. n.º 34, pp. 31-46, mayo de 2016.

Development and design of a software tool for optical simulation of Fresnel collectors

Sepúlveda, Miranda, Rodríguez Montero, Arranz, Matamoros, Lozano

Sepúlveda F.J.

Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
fsepulveda@unex.es

Miranda M.T.

Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
tmiranda@unex.es

Rodríguez P.

Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
palomard@unex.es

Montero I.

Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
imontero@unex.es

Arranz J.I.

Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
jiarranz@unex.es

Matamoros M.

Expresión Gráfica
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
manuelmp@unex.es

Lozano F.J.

Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
flozanocortes@unex.es

Abstract—A software tool has been developed to spread knowledge about the use of mid-temperature solar concentrators, in particular linear Fresnel collector (LFC). The computer application allows people, not necessarily experts, to simulate the optical behaviour of a Fresnel plant. It allows the user to configure multiple parameters in order to assist the configuration and design process.

Keywords—SHIP, Fresnel, energy simulation

^a INTRODUCTION

Global demand for energy has been increasing steadily during last century, as well as CO₂ emissions associated to this energy consumption (a 60% percent increase is estimated for 2030). This explains the need for an energy transition from fossil fuels to renewable sources [1,2]. Process heat accounts for 54% of the energy consumption in the industrial sector in Europe [3], and is generated mainly from non-renewable sources. Mid-temperature solar concentrators (80-250°C) can be combined with traditional ways of generating energy, thus reducing fossil fuel consumption. The more common mid-temperature solar concentrators are parabolic trough collector (PTC) and linear Fresnel collector (LFC). Several studies state that PTC is a more advanced technology due to its superior optical quality and energy efficiency [4,5], this is because of the angle

of incidence and the cosine factor influence. Nevertheless, LFC has several advantages over PTC. LFCs have simpler mirrors and structure, the tracking system needs very little energy and flexible joints are eliminated. All this factors reduce significantly its fabrication and maintenance costs [6–10].

The potential of solar energy for industrial uses has been widely tested with satisfying results. Nonetheless, the role of solar energy is still limited. This is possibly due to the lack of knowledge of this type of technology which justifies the necessity of the development of new tools and applications that help to spread the advantages of this technology to the end user in a simple and direct way. Currently, there are several simulation softwares [11–18] developed for experts which use requires a deep knowledge.

For all this reasons, the goal of this paper is to develop a simulation tool for solar thermal plants using MATLAB [19,20], to help researchers and end-users design and predict the plant's optical behaviour.

The development of this program is set in the context of the project Research, Development and Renewable Energies for the improvement of the business clusters in Centro, Extremadura and Alentejo (IDERCEXA) which

purpose is to improve I+D+i in industrial sectors important in EUROACE region.

Under this project, a thermal solar plant is planned to be built shortly. The simulation program will be validated by the data produced in the functioning of this plant. So far, the results of the simulations are coherent with other authors [21–23]

^bMATERIALS AND METHODS

As stated in the Introduction, we have developed this application for researchers and industries interested in the field of Fresnel collectors. We wanted to offer as many possibilities as possible and make the interaction as simple as we could.

The mathematical model used is based in previous works written by Universidad de Sevilla [24]. We adapted their equations to a generic orientation, as their model was specific for collectors with an East-West orientation.

a. Matlab and GUIDE

Matlab[25] was chosen as the platform to develop this program. Advantages of Matlab include matrix and array operation and the possibility of creating a Graphical User Interface (GUI).

To further facilitate the usability of the program, a GUI has been elaborated, using GUIDE, the graphical user interface development environment of MATLAB.

b. Program Structure

The GUI consists of three different stages. Figure 1 includes a visual detail of the program stages and how they interact. The first one is the configuration stage which allows the user to enter the necessary parameters to run the simulation. The second stage is the visualization stage in which the results of the simulation are shown. The third one shows the position of the collectors rows in a specified instant, as well as other results.

In the configuration stage, the following parameters must be introduced: Location and orientation parameters, beam radiation parameters, simulation parameters and collector parameters.

Localization and orientation parameters are asked to the user in degrees. Orientation is defined as the angle the

South forms with the collector x axis (which is the axis perpendicular to the absorber tube).

Beam radiation data is requested from the user in a specific format. A radiation value is demanded for each hour of the year in an Excel document. Data previously used were provided by software Meteonorm (version 7.1) [26] a program, that offers a unique combination of reliable irradiation data sources and sophisticated calculation tools. It is also possible to enter data from weather stations located near the plant.

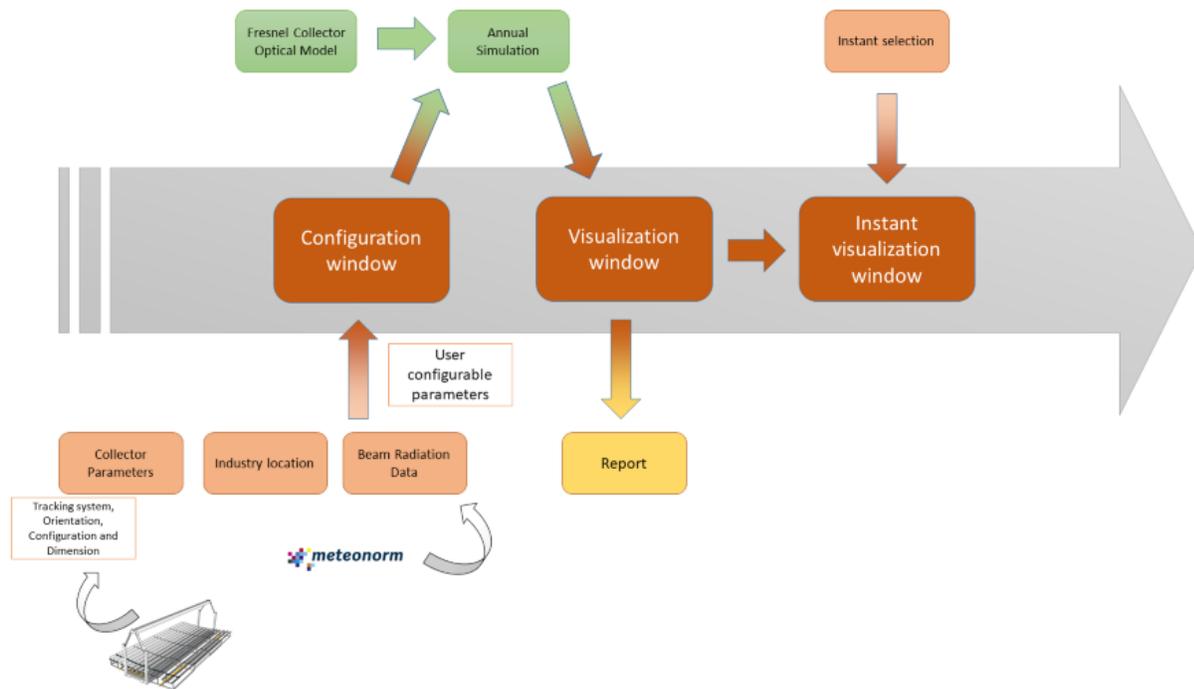
Simulation parameters are necessary to run the program. Tracking system period refers to the time between mirror rotations. Calculation precision of the sun's position is parameter that can be configured. The default value of this parameter is 1:1, meaning that the sun's position will be calculated only once for every mirror position, but other values can be selected so that the sun's position is calculated several times for every mirror movement. This parameter will allow to understand the real impact of the tracking system period in the performance of the plant, as well as determine the results with a higher accuracy.

The Fresnel parameters are divided in three: parameters corresponding to the absorber tube, parameters corresponding to the secondary reflector and generic geometric parameters of the Fresnel collector.

In the visualization stage, simulation results are shown. Two numerical results can be visualized: annual concentrated energy and annual average performance. Additionally, two graphs are represented. The period of the representation can be chosen by the user: a whole year, a month or a week.

It is possible to print a report in the configuration stage that contains all the relevant information output from the simulation.

The third stage is implemented to test the correct functioning of the system. It shows a front view of the LFC, in which the mirror angles are represented, as well as the shade in every row because of the surrounding rows and the concentrated power. Any instant of the year can be chosen by the user to be represented.



Program's flow diagram

RESULTS AND DISCUSSION

In Figure 2, the window corresponding to the configuration stage can be visualized. The second and third row coincide with the collector's parameters. One option has already been implemented, that is the parameters of a Fresnel collector used in a project in this

department. The location, beam radiation data and simulation parameters are in the first row of the window. The introduction of the beam radiation data is made in a different window that allows the user to enter the name of the file and the cells where the data are located.

The screenshot shows the 'Config_modulo' window with the following sections and parameters:

- Location:** Longitude (°), Latitude (°), Orientation (°).
- Beam Radiation Data:** Data field with 'Explore...' button and 'No data entered' message.
- Simulation parameters:** Tracking system period (s), Calculation precision of sun's position (1:1).
- Pre-loaded Fresnel characteristics:** Solatom Fresnel, Other... (selected).
- Absorber tube:** Absorber tube length (m), Absorber tube height (measured from mirrors) (m), Glass tube outside diameter (m), Glass tube inside diameter (m), Glass tube thermal conductivity (J/(s.m.K)), Glass tube emissivity, Glass tube absorptivity, Glass tube transmissivity, Glass tube cleanliness factor, Absorber tube outside diameter (m), Absorber tube inside diameter (m), Absorber tube thermal conductivity (J/(s.m.K)), Absorber tube absorptivity, Absorber tube emissivity.
- Secondary Reflector:** Secondary reflector outside diameter (m), Absorber tube inside diameter (m), Secondary reflector absorptivity, Secondary reflector thermal conductivity (J/(s.m.K)), Secondary reflector emissivity, Secondary reflector reflectivity, Secondary reflector cleanliness factor.
- Fresnel Geometry:** Number of modules, Number of rows, Number of mirror rows, Mirror width (m), Mirror length (m), Distance between mirrors, Primary mirrors reflectivity, Primary mirrors cleanliness factor.

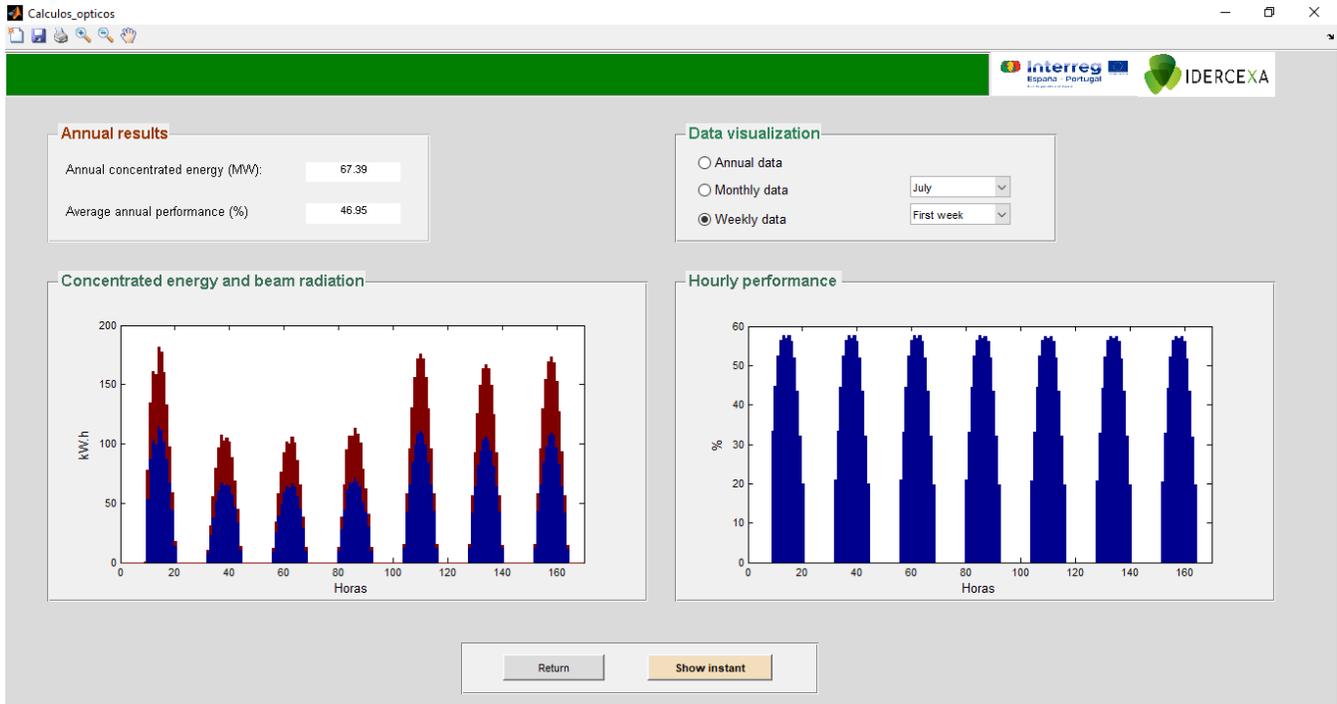
Buttons: OK, Simulate.

Program's configuration window

The visualization of the simulation is in Figure 3. The information shown is the result of a simulation made for a plant in Santiago del Campo, Cáceres, the southwest of Spain. Irradiation data used was obtained from Meteoneorm. The orientation of the plant is 90°, that is an East-West orientation. The tracking system period was set in 90s, with a calculation precision of the sun's position of 1:1. The parameters corresponding to the absorber tube and the secondary reflector were consulted from works already mentioned written by the Universidad de Sevilla [24]. The number of modules simulated is 8. The parameters corresponding to the Fresnel Geometry correspond to those a work by Frasquet, M. et al [27].

Simulation results have been compared with several works, and we found our data was coherent with these previous findings [21–23].

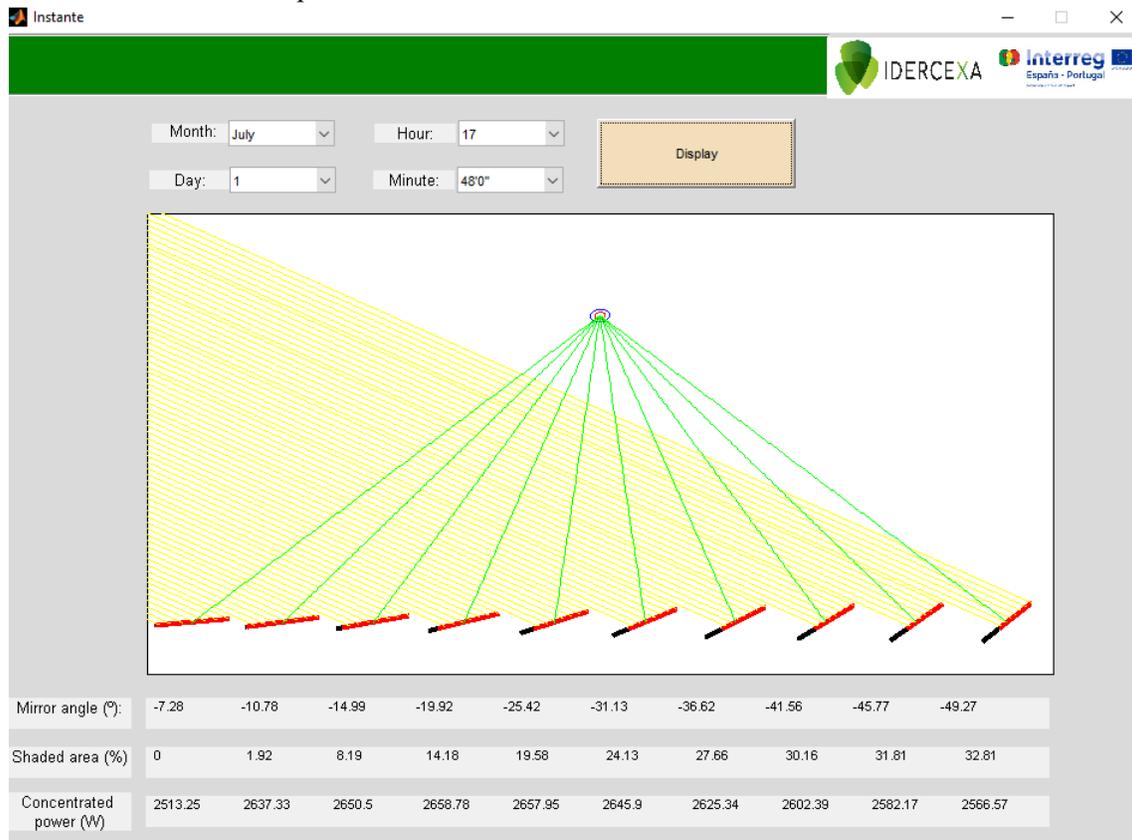
As explained in the previous section, two annual results are shown: the annual concentrated energy and the average annual performance. The user has three options to visualize the data: annually, monthly or weekly. The two graphs in the bottom of the window will change depending of the selection. When choosing to view the data monthly one of the two lists is enabled and the month that is represented can be selected. When choosing to view the data weekly, the month and the week can be selected.



Program’s visualization window

When pressing the button “show an instant”, the program will open the window in Figure 4. This window allows the user to selected the instant that is represented with the lists in the top of the window. The

instants can be selected in the minute’s list depend on the tracking system period that was selected in the Configuration window.



Program’s specific instant visualization window.

The central image of the window is a frontal representation of the collector. The segments in red and black in the bottom represent the mirrors, the red part embodies the part that receives the sunlight and the black part the part that is shaded because other mirrors block the sunlight.

The sun rays are drawn in yellow lines. The reflected rays are illustrated in green. Only the central reflected ray is painted in each mirror so that figure is clearer.

Several data are represented in the bottom of the window. Under every mirror there are three values: mirror angle (in grades), percentage of shaded area and concentrated power (in W).

This last window will allow the user to check more easily the correct functioning of the tracking system and the rest of the parameters.

Additionally, several functions are available for the user to interact with program. In the visualization window it is possible to zoom and move the graphs, as well as printing and saving the results of the simulation in a report using the toolbar in the top of the window.

CONCLUSIONS

This tool will help to make the technology known to researchers and industry in an easy and intuitive way. It can help them design and optimize the plant for their needs due to its many configurable features. It allows to test the influence of the tracking system period since the parameter of sun position precision is editable by the user. Also, the program can help the user to find the plant's optimal orientation because this is also a configurable parameter.

Lastly, the program offers the functionality of printing a report with all the relevant information output by the simulation.

In future versions of the program, the thermal simulation of the plant will also be included.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank the Junta de Extremadura and FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional "Una manera de hacer Europa") for its support through the economic aid for research groups (GR18137), as well as the project Research, Development and Renewable energies for the improvement of business fabric in Centro, Extremadura y Alentejo (0330_IDERCEXA_4_E).

REFERENCES

1. International Energy Agency World Energy Outlook Spanish Translation.
2. Piebalgs, A. Green paper: A European strategy for sustainable, competitive and secure energy. *CE Sifo Forum* **2006**.
3. Farjana, S.H.; Huda, N.; Mahmud, M.A.P.; Saidur, R. Solar process heat in industrial systems – A global review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2018**.
4. El Gharbi, N.; Derbal, H.; Bouaichaoui, S.; Said, N. A comparative study between parabolic trough collector and linear Fresnel reflector technologies. *Energy Procedia* **2011**, *6*, 565–572.
5. Rungasamy, A.E.; Craig, K.J.; Meyer, J.P. 3-D CFD Modeling of a Slanted Receiver in a Compact Linear Fresnel Plant with Etendue-Matched Mirror Field. In Proceedings of the Energy Procedia; **2015**.
6. Lin, M.; Sumathy, K.; Dai, Y.J.; Wang, R.Z.; Chen, Y. Experimental and theoretical analysis on a linear Fresnel reflector solar collector prototype with V-shaped cavity receiver. *Appl. Therm. Eng.* **2013**.
7. Lancereau, Q.; Rabut, Q.; Itskhokine, D.; Benmarraze, M. Wind Loads on Linear Fresnel Reflectors' Technology: A Numerical Study. In Proceedings of the Energy Procedia; **2015**.
8. Zhu, J.; Huang, H. Design and thermal performances of Semi-Parabolic Linear Fresnel Reflector solar concentration collector. *Energy Convers. Manag.* **2014**.
9. Sahoo, S.S.; Singh, S.; Banerjee, R. Analysis of heat losses from a trapezoidal cavity used for Linear Fresnel Reflector system. *Sol. Energy* **2012**.
10. Balaji, S.; Reddy, K.S.; Sundararajan, T. Optical modelling and performance analysis of a solar LFR receiver system with parabolic and involute secondary reflectors. *Appl. Energy* **2016**.
11. Khan, M.S.A.; Badar, A.W.; Talha, T.; Khan, M.W.; Butt, F.S. Configuration based modeling and performance analysis of single effect solar absorption cooling system in TRNSYS. *Energy Convers. Manag.* **2018**.
12. Ren, H.; Lu, Y.; Zhang, Y.; Chen, F.; Yang, X. Operation simulation and optimization of distributed energy system based on TRNSYS. In Proceedings of the Energy Procedia; **2018**.
13. Carbonell, D.; Haller, M.Y.; Frank, E. Potential benefit of combining heat pumps with solar thermal for heating and domestic hot water preparation. In Proceedings of the Energy Procedia; **2014**.
14. Hou, C.; Xu, L. Influence of Installation Mode and Latitude on Collector Performance. In Proceedings of the Procedia Engineering; **2015**.
15. Von Storch, H.; Roeb, M.; Stadler, H.; Sattler, C.; Hoffschmidt, B. Available online Efficiency potential of indirectly heated solar reforming with different types of solar air receivers. *Appl. Therm. Eng.* **2016**.
16. Pauletta, S. A Solar Fresnel Collector Based on an Evacuated Flat Receiver. In Proceedings of the Energy Procedia; **2016**; Vol. 101, pp. 480–487.
17. Popescu, L.L.; Popescu, R.S.; Damian, A. Simulation Study of a Solar Residential Heating System. In Proceedings of the Energy Procedia; **2017**.
18. Teodorescu, D.; Vartires, A. A Study of the Influence of Solar Panels Coupled with Thermal Systems for a Residential Building, by Applying Methods of Evaluation as en 15316-4-3:2014 and TRANSOL. In Proceedings of the Energy Procedia; **2016**.

19. Frasquet, M. SHIPcal: Solar Heat for Industrial Processes Online Calculator. In Proceedings of the Energy Procedia; 2016.
20. Frasquet, M.; bannenber, J.; Silva, M.; Nel, Y. RESSSPI: The Network of Simulated Solar Systems for Industrial Processes.; International Solar Energy Society (ISES), 2019; pp. 1–9.
21. Kincaid, N.; Mungas, G.; Kramer, N.; Wagner, M.; Zhu, G. An optical performance comparison of three concentrating solar power collector designs in linear Fresnel, parabolic trough, and central receiver. *Appl. Energy* **2018**, *231*, 1109–1121.
22. Bellos, E.; Tzivanidis, C.; Papadopoulos, A. Daily, monthly and yearly performance of a linear Fresnel reflector. *Sol. Energy* **2018**, *173*, 517–529.
23. Ahmed, M.H.; Rady, M.; Amin, A.M.A.; Montagnino, F.M.; Paredes, F. Comparison of thermal and optical performance of Linear Fresnel and Parabolic Trough Concentrator. In Proceedings of the 2015 International Conference on Renewable Energy Research and Applications, ICRERA 2015; Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2015; pp. 626–629.
24. Pino, F.J.; Caro, R.; Rosa, F.; Guerra, J. Experimental validation of an optical and thermal model of a linear Fresnel collector system. *Appl. Therm. Eng.* **2013**, *50*, 1463–1471.
25. MathWorks. MATLAB. Available online: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html> (accessed on May 9, 2019).
26. Meteotest AG. Meteonorm. Available online: <https://meteonorm.com> (accessed on May 9, 2019).
27. Frasquet, M.; bannenber, J.; Silva, M.; Nel, Y. RESSSPI: The Network of Simulated Solar Systems for Industrial Processes.; International Solar Energy Society (ISES), 2019; pp. 1–9.

Impacts Of Extreme Climatic Events On The Agricultural And Forestry Systems – Project Impecaf

Sofia Ramoa, Célia Gouveia, Inês Vieira, Patrícia Páscoa, Catarina Alonso, Pedro Silva, Ana Russo

Sofia Râmoa
Departamento de Biociências
Instituto Politécnico de Beja
Rua Pedro Soares, Apartado 6158,
7800-908 Beja, Portugal
sramoa@ipbeja.pt

Célia Gouveia
Instituto Português do Mar e da
Atmosfera
Rua C ao Aeroporto, 1749-077 Lisboa,
Portugal
celia.gouveia@ipma.pt

Inês Vieira
Instituto Dom Luiz
Faculdade de Ciências da
Universidade de Lisboa
Campo Grande, 1749-016 Lisboa,
Portugal

Patricia Páscoa
Instituto Dom Luiz
Faculdade de Ciências da
Universidade de Lisboa
Campo Grande, 1749-016 Lisboa,
Portugal

Catarina Alonso
Instituto Dom Luiz
Faculdade de Ciências da
Universidade de Lisboa
Campo Grande, 1749-016 Lisboa,
Portugal

Pedro Oliveira e Silva
Departamento de Biociências
Instituto Politécnico de Beja
Rua Pedro Soares, Apartado 6158,
7800-908 Beja, Portugal
pedrosilva@ipbeja.pt

Ana Russo
Instituto Dom Luiz
Faculdade de Ciências da
Universidade de Lisboa
Campo Grande, 1749-016 Lisboa,
Portugal
acrusso@fc.ul.pt

Abstract— The IMPECAF is a research project that started at the end of 2018 and aims to deepen the knowledge on weather extremes, particularly droughts and heat waves, which affect agricultural and forest ecosystems of the Iberian Peninsula. Despite these events presenting different temporal scales, their simultaneous occurrence can intensify the observed impacts. In addition, these impacts may extend over large areas affecting different ecosystems. This project aims at transferring knowledge on fundamental research in meteorology for the agricultural and forestry sectors, and it is expected that the results may be an input in the decision-making process of farmers. To achieve this aim, appropriate measures will be developed to mitigate the impact of these extreme weather events in the forestry and agricultural sectors. This will be followed by an approach that ensures the involvement of stakeholders since the beginning of the project and even after its conclusion.

Keywords—droughts, heat waves, crop losses, risk models, Iberian Peninsula.

^a INTRODUCTION

In recent decades, changes in climate have caused impacts on natural and human systems on all continents and across the oceans [1]. Nevertheless, increases in climate variability have a greater effect on society than do changes in mean climate because it is more difficult to adapt to changes in extremes [2]. Europe was struck

by record breaking extreme events, namely the mega-heat waves of 2003 in Europe [3] and 2010 in Russia [4,5], and the large droughts in southern Europe in 2005 [6,7], 2012 [8] and 2016/2017 [9]. The last major assessments performed by the IPCC on extreme events [1,10] confirm that a changing climate can lead to changes in the frequency, intensity, spatial extent, duration, and timing of weather and climate extremes that combined with larger exposure can result in unprecedented risk to humans and ecosystems [1]. Several studies have also stressed the role played by recent climate change in the increased likelihood of occurrence of some of these extremes [11-14].

Risk assessments generally focus on univariate statistics even when multiple stressors are considered. For example, concurrent extreme droughts and heat waves can substantially affect vegetation health, prompting tree mortality, and thereby facilitating insect outbreaks and fires [15]. In a future climate, elevated CO₂ may buffer effects of drought on vegetation productivity by increasing water use efficiency [16]. In addition, droughts have the potential to trigger and intensify fires [17] and can cause severe economic damage [18], with no time for early-warnings in the case of flash-droughts [18].

Thus, evidence on observed impacts as well as to climate change projected impacts on terrestrial ecosystems are mounting [5,7], suggesting significant vulnerability of both forest and agricultural ecosystems, namely being key drivers for vegetation stress [7] and potentially responsible for crop yield and wood losses [19,20]. So, continuous monitoring of vegetation activity and a reliable estimation of droughts and heat waves' impacts is crucial to reduce potential risks in the Iberian Peninsula.

Agricultural and forest risk management aims to mitigate crop and forest growth losses [21-24], highlighting the severe damages that can occur in the case of a concurrent effect of high temperature [22]. Hence, the predictability and forecasting of extreme weather events play a major role in risk management to promote adaptation and mitigation measures that contribute to minimize the impacts resultant from these extreme events.

Traditionally, local risk management strategies focus only on short-term climatic events without considering long-term climate changes [1], such as vegetation and soil moisture changes. General Circulation Models (GCMs) provide a powerful tool to evaluate recent trends in a broader temporal context and to investigate the underlying mechanisms [25]. Nevertheless, currently used GCMs have coarse horizontal resolutions, being unable to represent many land-atmosphere interactions and systems that drive regional and local climate variability [25]. Alternatively, the Regional Climate Models (RCMs), namely the Weather Research and Forecasting model (WRF, 2km to 9km resolutions), are physically consistent with regional and local circulations at finer horizontal and temporal scales [25,26].

^bIMPECAF'S MAIN GOALS

The main goal of IMPECAF is to enhance the knowledge on Hot and Dry meteorological Extremes (HDE, heat waves, droughts, and flash-droughts) which affect the agricultural and forest ecosystems of the Iberian Peninsula. Despite the different temporal scales of these HDE, the concurrent or lagged effect of more than one of these phenomena may intensify the observed impacts [1]. Moreover, their impacts can extend over large regions [3,5], differently affecting varied ecosystems [7,14,17, 19,20]. Despite differences in the spatial-temporal context on which each HDE occur [1], they will all be treated from a multidisciplinary perspective considering past, present and future states of climate.

IMPECAF plans different actions to assess the risk of the impact of HDE on crop and wood losses, making use of currently available meteorological, hydrological and remote sensing data. Hence, IMPECAF will use drought indices which are useful for drought monitoring and early warning and will integrate short- and medium-term meteorological predictions and numerical

simulations for better drought prediction. Moreover, IMPECAF will also assess the role of vegetation communities and carbon storage by ecosystems on drought and heat wave impacts. These tasks will allow

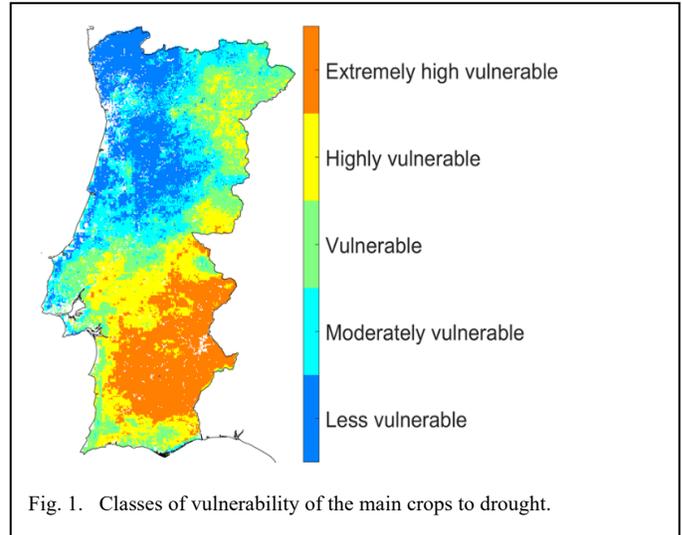


Fig. 1. Classes of vulnerability of the main crops to drought.

designing efficient risk models and produce information which will help in risk mitigation and insurance planning.

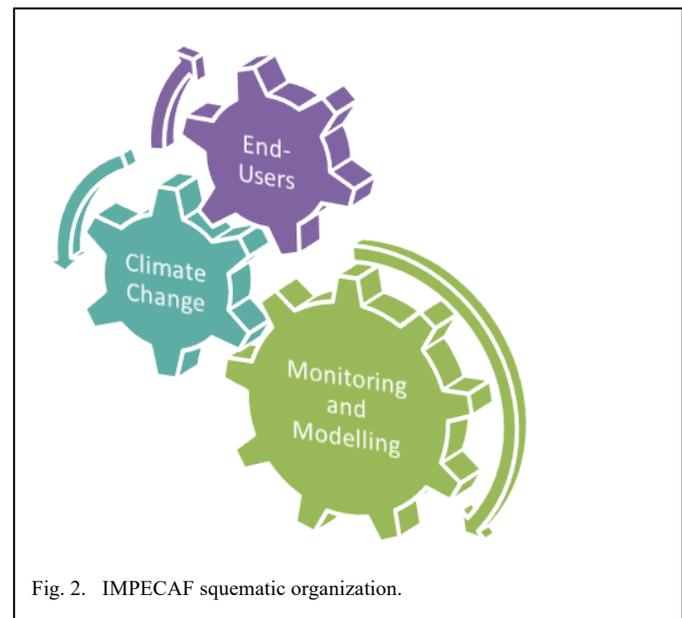


Fig. 2. IMPECAF squematic organization.

IMPECAF is organized into three work packages (Fig. 1) encompassing seven tasks, and it uses a trans-disciplinary approach that includes innovative in-depth studies that combine drought and heat wave analyses at the Iberian scale. The project will rely on the accumulated experience of the project team on multivariable impact analysis of extreme events such as the recent mega-European heat waves of 2003 [3,5] and 2010 [4,5] or the outstanding droughts of 2005 and 2012 in the Iberian Peninsula [6,7,8].

Finally, the outcomes of the project are expected to be available to the scientific community and general public, helping farmers, producers and insurance

companies on the process of decision-making. This will be achieved through the development of appropriate measures for HDE mitigation in the forestry and agriculture sectors, both prior and during HDE occurrence. A bottom-up approach will be followed to guarantee stakeholder involvement from the start of the project and also after its completion, which will be ensured by the connection between the IPBeja and two Alentejo's agriculture associations.

This project will benefit from the close collaboration with the stakeholders and end-users to ensure an adequate acceptance of the new products developed.

RESULTS

a. Crops' sensitivity and adaptive capacity to drought occurrence

In the context of sustainable agricultural management, particularly under climate change, monitoring of drought events and assessing the vulnerability of agriculture to drought plays a crucial role [27]. Drought episodes are very frequent in the Iberian Peninsula and an increase of frequency of these extreme events are expected in near future [28,29].

In this work a principal component analysis was performed based on information regarding the vulnerability components of exposure, sensitivity and adaptability of the agricultural system to drought with the final goal of generating maps of vulnerability of agriculture to drought in mainland Portugal.

It can be concluded that the Alentejo is an area of special attention because it is the area that has a higher vulnerability of crops to drought and that has the most agricultural area (Fig. 2). The method used is a fully statistical method that presents results according to a prior knowledge of the region and the data used.

b. Identification of fire weather types associated to the occurrence of large fires in Iberia

The Mediterranean region is characterized by the frequent occurrence of summer wildfires representing an environmental and socioeconomic burden. Some Mediterranean countries (or provinces) are particularly prone to Large Fires (LF), namely Portugal, Galicia, Greece, and southern France [30,31,32]. On the other hand, the Mediterranean basin corresponds to a major hotspot of climate change, and anthropogenic warming is expected to increase the total burned area due to fires in Mediterranean Europe [33].

Here, we propose to classify summer large fires for four regions of Iberia according to their local-scale weather conditions (i. e. temperature, relative humidity, wind speed) and fire danger weather indices (Fig. 3). Composite analysis was used to investigate the impact of local and regional climate drivers at different time

scales, and to identify distinct climatologies associated to the occurrence of LF in the Iberian Peninsula. The regions present significantly different values of burned area from which a large fire is considered.

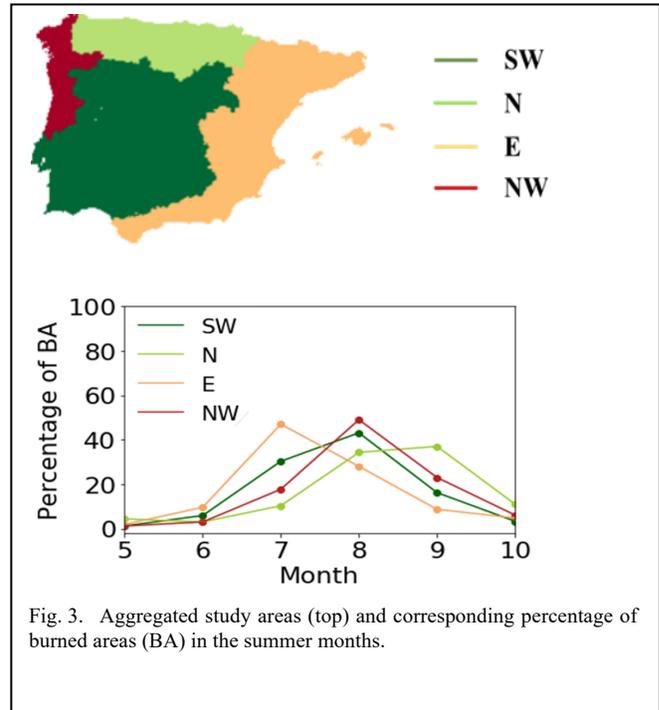


Fig. 3. Aggregated study areas (top) and corresponding percentage of burned areas (BA) in the summer months.

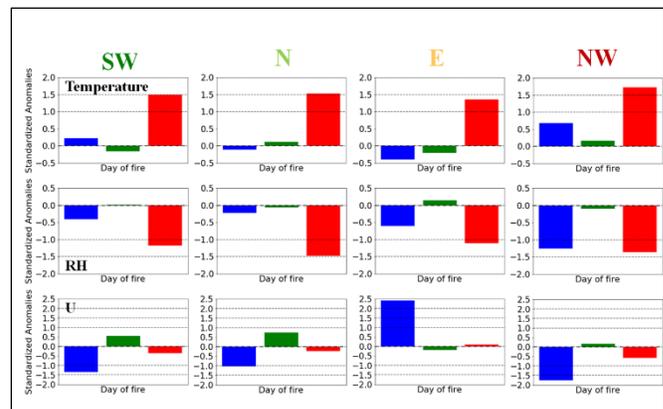


Fig. 4. Composites of the standardized anomalies of the meteorological variables (temperature, relative humidity and zonal wind) of the fire day associated with the three Fire Weather Types, FWT_1 (blue), FWT_2 (green) and FWT_3 (red).

The application of the cluster analysis to aggregate fire day standardized anomalies for the variables identified by the PCA (Principal Component Analysis) can be observed in figure 4, showing that in all four regions, three distinct Fire Weather Types were identified. The FWT_1, depicted in blue, is characterised by high wind speed anomalies (above one std). The FWT_2, in green, is represented by anomalies of the various variables within the normal (below one std). Finally, FWT_3, in red, is characterized by high positive temperature anomalies (above one std) and strong negative relative humidity anomalies (above one

std). However, the value of the anomalies that distinguish each FWT is different for the four regions.

CONCLUSIONS

The assessment of the impact of extreme weather conditions, in particular the occurrence of droughts and heat waves, in the production of cereals is of great importance, since the extreme episodes in the Iberian Peninsula have been more frequent and more intense, having impacts on vegetation. In a context of climate change, the sustainable production of natural resource, in particular as regards the plant ecosystems, is a challenge that urge to present solutions. In this sense, the modelling of agricultural and forestry biomass productivity is crucial, aiming at sustainable and informed management, in particular regarding mitigation or adaptation measures to frequent extreme events. At the same time, the modelling of forestry and agriculture biomass allows access to existing insurance systems. Risk models for agriculture are based on the experience and know-how of the team members in crop modelling, and statistical methods. Moreover, agrometeorological projects use data freely available, including remote detection data of high temporal resolution. The models will integrate a tool, available online, easy to use and to interpret, allowing a supported decision by farmers, foresters, managers, civil protection, among others.

We expect to be able to develop a dialogue and foster linkages between the scientific community, policy makers, and end-users within the context of IMPECAF.

ACKNOWLEDGMENT

This work was funded by national funds by the FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia, Portugal) under the scope of project IMPECAF (FCT, PTDC/CTA-CLI/28902/2017).

REFERENCES

- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation, in A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, eds C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, et al. Cambridge, UK; New York, NY, USA: Cambridge University Press, 582.
- Seneviratne S., Lüthi D., Litschi M., Schär C. (2006). Nature Letters, 443, doi:10.1038/nature05095
- Trigo, R.M., García-Herrera, R., Díaz, J., Trigo, I.F., Valente, M.A. (2005). How exceptional was the early August 2003 heatwave in France? Geophysical Research Letters, 32, L10701, doi:10.1029/2005GL02241
- Barriopedro, D., Fisher, E., Luterbacher, J., Trigo, R.M., and García-Herrera, R. (2011). The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe. Science, 322, 220. DOI: 10.1126/science.1201224.
- Bastos, A., Gouveia, C.M., Trigo, R.M., Running, S.W. (2014). Analysing the spatio-temporal impacts of the 2003 and 2010 extreme heatwaves on plant productivity in Europe. Biogeosciences, 11, 3421–3435. doi:10.5194/bg-11-3421-2014
- García-Herrera R., Paredes D., Trigo R.M., Trigo I.F., Hernández H., Barriopedro D., Mendes M.T. (2007). The outstanding 2004–2005 drought in the Iberian Peninsula: associated atmospheric circulation. Journal of Hydrometeorology, 8, 483–498.
- Gouveia C., Trigo R.M., DaCamara C.C. (2009) Drought and Vegetation Stress Monitoring in Portugal using Satellite Data Natural Hazards and Earth System Sciences, 9, 1–11.
- Trigo R.M., Añel J., Barriopedro D., García-Herrera R., Gimeno L., Nieto R., Castillo R., Allen M.R., Massey N. (2013). The record Winter drought of 2011–12 in the Iberian Peninsula, in Explaining Extreme Events of 2012 from a Climate Perspective. Bulletin of the American Meteorological Society, 94 (9), S41–S45
- García-Herrera R., Garrido-Perez J.M., Barriopedro D., Ordóñez C., Vicente-Serrano S.M., Nieto R., Gimeno L., Sori R., Yiou P. (2019): [The European 2016/2017 drought](#), Journal of Climate. doi: 10.1175/JCLI-D-18-0331.1.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Cambridge University Press New York, NY, USA
- Donat, M. G., et al. (2013), Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset, J. Geophys. Res. Atmos., 118, 2098–2118, doi:10.1002/jgrd.50150
- Sillmann, J., V. V. Kharin, X. Zhang, F. W. Zwiers, and D. Bronaugh (2013), Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate, J. Geophys. Res. Atmos., 118, 1716–1733, doi:10.1002/jgrd.50203.
- Seneviratne, S., Donat, M.G., Mueller, B., Alexander, L. V., 2014. No pause in the increase of hot temperature extremes, Nature Clim. Change, 4, 3, 161–163, doi:10.1038/nclimate2145
- Ummenhofer, C.C., Meehl, G.A. (2017) Extreme weather and climate events with ecological relevance: a review. Phil. Trans. R. Soc. B, 372, 20160135, doi: 10.1098/rstb.2016.0135
- Mazdiyasi, O., AghaKouchak, A. (2015). Substantial increase in concurrent droughts and heatwaves in the United States. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 112(37), 11484–11489. <http://doi.org/10.1073/pnas.1422945112>.
- Zhu Z, Piao S, Myneni RB, et al.: Greening of the Earth and its drivers. Nat Clim Chang. Advance online publication. 2016;6(8):791–795. 10.1038/nclimate3004
- Russo, A., Gouveia, C.M., Páscoa, P., DaCamara, C.C., Sousa, P.M., Trigo R.M. (2017) Assessing the role of drought events on wildfires in the Iberian Peninsula. Agricultural and Forest Meteorology, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.01.021>
- Mo, K. C., and D. P. Lettenmaier (2015), Heat wave flash droughts in decline, Geophys. Res. Lett., 42, 2823–2829, doi:10.1002/2015GL064018.
- Popova, Z., Ivanova, M., Martins, D., et al. (2014) Vulnerability of Bulgarian agriculture to drought and climate variability with focus on rainfed maize systems. Nat Hazards 74:865–886. doi: 10.1007/s11069-014-1215-3
- Eilmann, B., Zweifel, R., Buchmann, N., Pannatier, E.G., Rigling, A., (2011) Drought alters timing, quantity, and quality of wood formation in Scots pine. J Exp Bot 2011; 62 (8): 2763–2771. doi: 10.1093/jxb/erq443.
- Iglesias A, Quiroga S (2007) Measuring the risk of climate variability to cereal production at five sites in Spain. Clim Res 34:47–57. doi: 10.3354/cr034047
- Adams HD, Guardiola-Claramonte M, Barron-Gafford GA, Villegas JC, Breshears DD, Zhou CB, Troch PA, Huxman TE (2009) Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change-type drought. PNAS 106(17):7063–7066, doi:10.1073/pnas.0901438106
- Dalezios NR, Blanta A, Spyropoulos N V, Tarquis a M (2014) Risk identification of agricultural drought for sustainable Agroecosystems. Nat hazards earth Syst Sci 14:2435–2448. doi: 10.5194/nhess-14-2435-2014
- Albert M, Hansen J, Nagel J, Schmidt M, Spellmann H (2015) Assessing risks and uncertainties in forest dynamics under different management scenarios and climate change. Forest Ecosyst 2(1):1–21.
- Soares, P.M.M., Cardoso, R.M., Medeiros, J., Miranda, P.M.A., Belo-Pereira, M., Espirito-Santo, F. (2012). WRF High Resolution

- Dynamical Downscaling of ERA-Interim for Portugal. *Climate Dynamics*. 39, 2497-2522. doi: 10.1007/s00382-012-1315-2.
- Cardoso, R.M., Soares, P.M.M., Miranda, P.M.A., Belo-Pereira, M. (2013). WRF high resolution simulation of Iberian mean and extreme precipitation climate. *International Journal of Climatology*. 33, 2591-2608. doi: 10.1002/joc.3616.
- Alonso C., Gouveia C., Russo A., daCamara C. (2019). Avaliação da vulnerabilidade da agricultura à seca em Portugal Continental, APMG2019 – 11º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG.
- Guerreiro, S. B., Kilsby, C. and Fowler, H. J. (2017), Assessing the threat of future megadrought in Iberia. *Int. J. Climatol*, 37: 5024-5034. doi:[10.1002/joc.5140](https://doi.org/10.1002/joc.5140)
- [29] Dubrovský, M., Hayes, M., Duce, P. et al. *Reg Environ Change* (2014) 14: 1907. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0562-z>
- [30] Trigo, R. M., Pereira, J. M. C., Pereira, M. G., Mota, B., Calado, T. J., Dacamara, C. C., Santo, F. E. (2006). Atmospheric conditions associated with the exceptional fire season of 2003 in Portugal. *International Journal of Climatology* 26(13), 1741–1757. doi: 10.1002/joc.1333.
- [31] Ruffault, J., Moron, V., Trigo, R. M., Curt, T. (2016). Objective identification of multiple large fire climatologies: An application to a Mediterranean ecosystem. *Environmental Research Letters* 11(7). doi: 10.1088/1748-9326/11/7/075006.
- [32] Pinto, M. M., DaCamara, C. C., Trigo, I. F., Trigo, R. M., Turkman, K. F. (2018). Fire danger rating over Mediterranean Europe based on fire radiative power derived from Meteosat. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 18(2), 515–529. doi: 10.1002/joc.1333 10.5194/nhess-18-515-2018.
- [33] Sousa, P. M., Trigo, R. M., Pereira, M. G., Bedia, J., Gutiérrez, J. M. (2015). Different approaches to model future burnt area in the Iberian Peninsula. *Agricultural and Forest Meteorology* 202, 11–25. doi: 10.1016/j.agrformet.2014.11.018.

Qualidade de composto orgânico para plantio de hortaliças

Ana Segatelli, Andressa Pimenta, Giovanni Peixoto, Marcos Silva, Tatiane Bosco

Ana Beatriz de Melo Segatelli
Escola Superior Agrária
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
anabsegatelli@hotmail.com

Marcos Candido da Silva
Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Londrina
Londrina, Brasil
marcos7845@hotmail.com

Andressa Ferreira Pimenta
Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Londrina
Londrina, Brasil
drefpimenta@gmail.com

Tatiane Cristina Dal Bosco
Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Londrina
Londrina, Brasil
tatianebosco@utfpr.edu.br

Giovanni Terra Peixoto
Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Londrina
Londrina, Brasil
gtpeixoto@gmail.com

Resumo – A compostagem é uma técnica utilizada para obtenção de um composto orgânico rico em nutrientes e assimilável às plantas. Tendo em vista que existem poucos estudos que mostram a eficiência destes compostos no cultivo de hortaliças, no presente estudo objetivou-se avaliar, no cultivo de alface, a qualidade do composto final obtido a partir de poda de árvores, lodo de laticínios e borra de café - composto 1; grama, lodo de laticínios e borra de café – composto 2; grama, lodo de laticínios, borra de café e cinza de caldeira – composto 3. Para a realização do estudo foram plantadas alfaces da espécie *Lactuca Sativa L.* com os três compostos e um branco – sem adição de composto, e uma parcela apenas com fertilizante NPK. Os parâmetros avaliados foram crescimento da planta, diâmetro da cabeça, número de folhas, massa seca e massa fresca. Os resultados apontam semelhanças estatísticas entre os adubos orgânicos e o fertilizante NPK nos parâmetros avaliados e a parcela sem adubação apresentou resultados inferiores aos demais tratamentos, salientando a necessidade de adubação a cada plantio.

Palavras-chave — *compostagem, Lactuca Sativa L., compostagem, lodo de laticínio, cinza de caldeira.*

INTRODUÇÃO

No ano de 2010, no Brasil, foi implementada a Política Nacional de Resíduos Sólidos que, juntamente a outros determinantes, prevê o tratamento de resíduos sólidos urbanos via compostagem no país [1].

A compostagem é uma técnica de reciclagem de resíduos orgânicos que, a partir de materiais fontes de carbono e de nitrogênio, fornece um ambiente propício para que ocorra degradação da matéria orgânica em alta eficiência [2]. Uma das vantagens da compostagem é a formação de uma matéria orgânica mais humificada, com qualidade de condicionador do solo e que pode ser aplicada como adubo orgânico, por

este composto ser mais facilmente assimilável às plantas [2] [3]. Os condicionadores do solo são produtos que melhoram as características químicas, físicas e a saúde do solo, e no caso da matéria orgânica, também fornecem nutrientes às plantas [4].

Em estudos relacionando o plantio de hortaliças e seu desenvolvimento ao uso de compostos orgânicos, [5] [6] e [7] utilizaram o diâmetro da cultura, número de folhas, altura da planta, massa fresca e massa seca para estudar o desempenho de alfaces. Tais parâmetros são utilizados para obtenção da resposta da cultura ao método de adubação adotado.

Neste sentido, objetivou-se neste estudo avaliar o desenvolvimento da alface *Lactuca Sativa L.* utilizando três compostos orgânicos com diferentes composições.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina, Brasil, 23°18'32,1" S de latitude, 51°07'00,1" de longitude e altitude média de 610 metros.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é subtropical úmido, apresentando verões quentes e com concentrações de chuvas, com precipitação média anual entre 1200 e 1400 mm e pouca frequência de geadas no inverno [8].

Foi escolhido a alface *Lactuca sativa L.* pela facilidade de plantio durante o verão e adaptação às condições tropicais. O cultivo seguiu a metodologia descrita por [9] com algumas adaptações. O plantio foi feito em canteiro no solo, como indicado para hortaliças folhosas. O espaçamento entre cada hortaliça foi de 30cm, conforme recomendado por [10].

Para o plantio foram usados três compostos orgânicos, obtidos por meio de compostagem de diferentes resíduos, além de fertilizante inorgânico NPK comumente utilizado na horticultura.

A quantidade de adubo adicionado aos canteiros foi determinada de acordo com a necessidade nutricional de nitrogênio da alface para um bom desenvolvimento, que, segundo [11] é de 80 kg ha⁻¹. Considerando a necessidade de nitrogênio e conhecendo a quantidade desse nutriente presente em cada um dos compostos, foi calculada a massa de adubo, em base seca, que foi adicionada em cada área útil dos tratamentos, sendo suas composições expressas na Tabela 1.

Os parâmetros analisados durante e ao final do desenvolvimento da alface foram o diâmetro da cabeça (DC), o crescimento das folhas (CF), o número de folhas (NF), massa fresca (MF) e massa seca (MS). O experimento durou 49 dias, sendo a primeira coleta dos dados de DC, CF e NF 28 dias após o plantio, e a segunda coleta dos mesmos parâmetros mais MF e MS, 49 dias após o plantio.

Para a obtenção da MF e MS, foi utilizada apenas a parte aérea da planta, conforme recomendado por [10]. Assim, as plantas foram colhidas, acondicionadas em sacos de papel devidamente indicados e pesadas em balança analítica, sendo esta a MF. Após a pesagem, as amostras foram levadas à estufa de circulação de ar forçado a 50°C por 72 horas, obtendo-se a MS, de acordo com [6] e [10]. Os dados foram submetidos a análise de variância e foi feito o teste de comparação múltiplas de médias Tukey (HSD ($\alpha = 0,05$)).

TABELA 1. TRATAMENTOS E RESPECTIVAS COMPOSIÇÕES.

Tratamento	Composição
Branco	Ausência de composto orgânico ou NPK
Composto 1 (T1)	Poda de árvores + Lodo de Laticínios + Borra de Café
Composto 2 (T2)	Gramma + Lodo de Laticínios + Borra de Café
Composto 3 (T3)	Gramma + Lodo de Laticínios + Borra de Café + Cinza de Caldeira
NPK (T4)	Nitrogênio, Fósforo e Potássio

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os valores médios e desvio padrão obtidos para DC, CF, NF, MF e MS.

TABELA 2. VALORES MÉDIOS E DESVIO PADRÃO PARA DC, CF E NF.

Tratamento	Diâmetro da cabeça (DC) (cm)	Crescimento das folhas (CF) (cm)	Número de folhas (NF)
Branco	18,000 B ± 2,000	11,286 A ± 2,059	15,571 A ± 2,370
T1	23,143 AB ± 4,845	14,143 A ± 1,574	23,286 A ± 4,957
T2	25,571 A ± 5,442	14,286 A ± 2,215	26,000 A ± 7,958
T3	22,286 AB ± 6,945	12,286 A ± 4,071	21,714 A ± 10,436
T4	22,750 AB ± 3,196	13,250 A ± 1,581	24,500 A ± 5,632

- Letras iguais na coluna indicam a ausência de diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de comparação múltipla de médias de Tukey ($\alpha < 0,05$).
- T1 – Poda de árvores, Lodo de Laticínios e Borra de Café; T2 – Gramma, Lodo de Laticínios e Borra de Café; T3 – Gramma, Lodo de Laticínios, Borra de Café e Cinza de Caldeira; T4 – NPK.

Como esperado, o tratamento Branco apresentou os valores mais baixos dos parâmetros DC, CF e NF se comparado aos outros, mostrando que apenas os nutrientes contidos no solo não são o suficiente para o bom crescimento das plantas. Também percebe-se a influência do composto orgânico no solo: tratamentos em que se utilizaram os compostos 1 e 2 obtiveram maior valor de DC, sendo que os valores obtidos pelos compostos 1, 3 e N-P-K não apresentam diferenças significativas, enquanto o composto 2 foi melhor significativamente.

Além disso, com relação aos parâmetros CF e NF, não são apresentadas diferenças significativas entre o desempenho da alface utilizando NPK e utilizando os compostos orgânicos, sendo uma alternativa de substituição.

TABELA 3. VALORES MÉDIOS E DESVIO PADRÃO PARA MF E MS.

Tratamento	Massa Fresca (g)	Massa Seca (g)
Branco	0,058 A ± 0,011	0,020 A ± 0,001
T1	0,104 A ± 0,053	0,024 A ± 0,004
T2	0,120 A ± 0,053	0,025 A ± 0,004
T3	0,126 A ± 0,079	0,024 A ± 0,005
T4	0,103 A ± 0,032	0,023 A ± 0,003

- Letras iguais na coluna indicam a ausência de diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de comparação múltipla de médias de Tukey ($\alpha < 0,05$).
- T1 – Poda de árvores, Lodo de Laticínios e Borra de Café; T2 – Gramma, Lodo de Laticínios e Borra de Café; T3 – Gramma, Lodo de Laticínios, Borra de Café e Cinza de Caldeira; T4 – NPK.

Assim como na Tabela 2, o tratamento Branco apresentou valores inferiores de MF e MS. Novamente os alfaces que receberam composto orgânico no seu plantio obtiveram os maiores valores nestes parâmetros, que apesar de não apresentar diferenças significativas com relação aos outros tratamentos, se apresenta como uma alternativa de condicionador de solos e consequentemente, atuando no melhor crescimento da vegetação ali presente. De acordo com

[12] a aplicação do composto orgânico gera efeito residual de liberação de nutrientes, o que não acontece com a aplicação de fertilizante mineral.

De acordo com [6] a presença de matéria orgânica apresenta grande vantagem no cultivo de hortaliças por possuir efeito imediato e residual, pelo processo de mineralização, sendo visível o efeito na massa seca, já que apresenta o quanto a planta se desenvolveu, de acordo com a disponibilidade de nutrientes presentes no solo. Dessa forma, percebe-se no tratamento Branco a menor disponibilidade de matéria orgânica, tendo menor valor de massa seca, enquanto nos tratamentos utilizando compostos orgânicos (obtidos pela decomposição de matéria orgânica), os teores de massa seca foram superiores.

CONCLUSÃO

O tratamento Branco mostrou desempenho inferior aos demais tratamentos em todos os parâmetros analisados, como esperado, realçando a necessidade da aplicação de alguma fonte de nutrientes ao solo. Com relação ao crescimento das folhas, número de folhas, massa seca e massa fresca os tratamentos foram estatisticamente equivalentes. Já em relação ao diâmetro, o tratamento 2 obteve o melhor desempenho.

Dessa forma, conclui-se que o composto orgânico tem eficiência estatística igual ao fertilizante comercial, sendo esta uma alternativa ao uso do NPK, pois além de fornecer nutrientes ao solo, o composto orgânico tem característica de condicionador de solo, melhorando propriedades físicas e químicas. Além disso, a presença de adubo auxilia no melhor desenvolvimento das hortaliças.

AGRADECIMENTOS

O grupo agradece à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo espaço cedido para realização do estudo e das análises, e à Fundação Araucária pela concessão de bolsa aos alunos.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Gestão de resíduos orgânicos**. 2010.
- E. J. Kiehl, **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492p.
- J. T. Pereira Neto, Manual de Compostagem: Processo de baixo custo. Viçosa: UFV, 2007. 81 p.
- GSST (Glossary of Soil Science Terms. Soil Science Society of America. Inc. Madison, WI, USA. 2008.
- A. Santi, M. A. C. Carvalho, O. R. Campos, A. F. Silva, J. L. Almeida, S. Monteiro, Ação de material orgânico sobre a produção e características comerciais de cultivares de alface. *Horticultura Brasileira* 28: 87-90. 2010.
- S. M. Vidigal, A. C. Ribeiro, V. W. C. Casali, L. E. F. Fontes, Resposta da Alface (*Lactuca sativa L.*) ao Efeito Residual da Adubação Orgânica I - Ensaio de Campo. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 42, n. 239, p. 80-88, 1995.
- U. P. Filho, M. B. G. S. Freire, F. J. F. Freire, M. F. A. Miranda, L. G. M. Pessoa, K. M. Kamimura, Produtividade de alface com doses de esterco de frango, bovino e ovino em cultivos sucessivos, 2013.
- IAPAR (Instituto Agronômico do Paraná). *Cartas Climáticas do Estado do Paraná*. 2000.
- EMBRAPA. Como plantar hortaliças. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2006. 33 p.
- A. D. C. Lucio, F. M. Haesbaert, D. Santos, V. Benz, Estimativa do Tamanho de Parcela para Experimentos com Alface. *Horticultura Brasileira*, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 510-515. 2011.
- EMATER (Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural). *Manual de Olericultura Orânica*. Curitiba: Emater, 2007. 128 p.
- R. H. S. Santos, F. Silva, V. W. D. Casali, A. R. Condes, Efeito Residual da Adubação com Composto Orgânico Sobre o Crescimento e Produção de Alface. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 36, n. 11, p. 1395-1398. 2001.

Entrepreneurship and regional development in the European Union

Vítor João Pereira Domingues Martinho

Agricultural School (ESAV) and CI&DETS

Polytechnic Institute of Viseu (IPV)

Viseu, Portugal

Centre for Transdisciplinary Development Studies (CETRAD)

University of Trás-os-Montes and Alto Douro (UTAD)

Vila Real, Portugal

vdmartinho@esav.ipv.pt

Abstract—Innovation and entrepreneurship may play a determinant role for a sustainable regional development, where the economic growth should be compatible with the environmental preservation and the social balanced development. Considering the increasing trend, in some contexts, in the asymmetries between countries and among regions, it seems relevant to explore the relationships of the entrepreneurship with the regional development in a complex framework as it is that from the European Union. In this perspective the objective of this study is to review the literature related with these issues. As main insights from the literature survey, of stressing the new challenges for the regional development (make compatible, for example, the economic growth with the environmental preservation), the relationships between the innovation, entrepreneurship and the economic growth, the importance of the rural areas and the municipalities for the entrepreneurial development at regional level, and the importance of the industry and the tourism for strategic plans.

Keywords—*Innovation; Network visualization map; Literature review.*

V. INTRODUCTION

The big challenge for the several stakeholders at regional level, namely for the policymakers, will be to promote the economic growth and reduce the ecological footprint. In fact, to create new employments the economic growth is fundamental, but this process should reduce the environmental impact.

Another question, interrelated in the context described before, is about the unbalanced economic development between countries and regions. In some scenarios, it seems that there is an increasing trend in the asymmetries verified between countries and regions. This phenomenon is particularly problematic inside the European Union and inside countries as, for example, Portugal, where the population and the economic activity are agglomerated in the littoral and here in big cities as Lisboa and Porto.

Innovation and entrepreneurship may bring interesting contributions to improve balanced regional economic development, making compatible the economic growth with environmental and the social improvements. In this framework, the study here

present may be an interesting contribution for the several stakeholders related with the regional development and can be an important base to support the design of adjusted strategic plans. For that, 35 articles were considered from the Web of Science [1] all databases related with the following topics: entrepreneurship; "regional development"; "European Union". These works were first explored through bibliometric analysis considering the VOSviewer [2] software.

After this introduction, the section 2 will be for the bibliometric analysis, the section 3 for the literature review and the last section for the main insights.

VI. NETWORK VISUALIZATION MAP

With the VOSviewer software it was obtained the network visualization map presented in the figure 1, considering 4 as the minimum number of occurrence of a term. This figure was obtained considering the number of occurrences (dimension of the circle associated with each term) and the number of co-occurrences (proximity between the several terms) of the several terms [3] present in the title and the abstract of the 35 articles analysed.

Figure 1 shows the presence of four clusters (each one with a different colour) for the topics considered: entrepreneurship; "regional development"; "European Union". These four clusters stress the next aspects: the new challenges for the regional development, where the economic growth should be compatible with the environmental and social dimensions; the importance of the innovation and entrepreneurship for the economic growth; the importance of the rural development (more than the agricultural development) for the regional evolution; and the importance of the industry and the tourism for the design of strategic plans.

are important supports for the regional innovation and entrepreneurship [25], [26]. Innovation and entrepreneurship are crucial for the regional economic growth [27]–[29]. In any case, the approaches for the regional development analysis are multidisciplinary and all regional dimensions and assessments have their outcomes [30].

The human capital and the knowledge are crucial ingredients to be taken into account in any strategic plan for the regional development [31]. With knowledge and well trained human capital it is easier to create innovation and promote entrepreneurship, where the social economy has a relevant place [32], as well as the smart specialization (exploring specific areas and activities) [33]–[36]. The smart growth and the high-tech firms are the present and the future for the innovation and the entrepreneurship at regional level [37]. Another question is about the contributions from the younger generations and the women for the regional entrepreneurship [38].

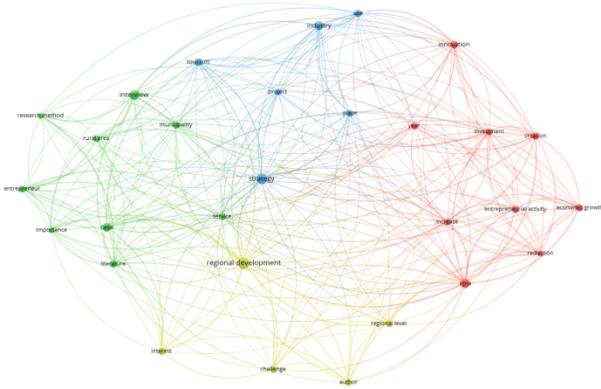
VIII. CONCLUSIONS

The main objective of this work was to analyse the relationships between the entrepreneurship and the regional development in the European Union context. For that, it was made bibliometric analysis and literature review considering 35 documents (articles) obtained from the Web of Science (all databases) platform for the following topics: entrepreneurship; “regional development”; “European Union”.

The bibliometric analysis performed with the VOSviewer software highlighted the following aspects: the new challenges to combine economic growth with environmental preservation and social development; the importance of the new ideas and the entrepreneurs for the economic growth; the relevance of the industry and tourism sectors for the regional development; and the importance of take into account the specificities of the rural zones and of each municipality.

From the literature review, of stressing, the role of the regional policies to promote balanced economic developments. Here, the local resources, culture and heritage have its importance in a perspective of smart specialization. The regional policies should be aware about dynamics behind the natural tendencies for the urban, and more developed zones, be more entrepreneurial and have more economic performances, contrarily to the rural areas. The younger generations, the women, the new technologies, the organic farming and the social economy can bring relevant outcomes.

Another question is about the few attention given by the scientific literature, in some cases, for the importance of the agricultural sector for the regional development.



Network visualization map

VII. LITERATURE ANALYSIS

The industry and the tourism are two economic activities of fundamental importance for balanced regional development, considering their characteristics and dynamics [4], however there are some local specificities associated with these activities that should be considered in any strategic plan [5]. The family business may play here a determinant role and its relevance must be considered in the regional policies [6]. The institutional dimension is another question to be addressed in the regional evolution assessment [7]. Adjusted plans for regional development should consider the interaction between the related institutions and the several stakeholders [8], [9], where the agricultural sector has its contribution [10].

It is crucial to design adjusted regional policies, namely to avoid the agglomeration in big cities and to promote the entrepreneurship in the less developed areas, considering the natural tendency for the urban areas being more entrepreneurial dynamics [11]. Urban areas are, in fact, more prone to be innovative and entrepreneurial, including a social level. The urban gardening is an example of social innovation and entrepreneurship, in some contexts [12]. The desertification of rural areas in the European Union is a big challenge, where the regional/rural policies must address the main causes and identify adjusted solutions [13]. The agricultural development and the local food networks may bring significant contributions for the rural development [14], specifically the organic farming [15]. The same happens with the rural tourism, where the local culture, endogenous resources and heritage make the difference [16]–[19], namely in terms of wine tourism [20], in a perspective of rural multifunctionality [21]. The culture has always a relevant contribution for any development plan [22], as well as, the new technologies of information and communication [23]. The bioeconomy is another activity with great potential for the a balanced development [24]. The European Union structural funds, when well applied,

ACKNOWLEDGMENTS

This work is financed by national funds through FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., under the project UID/Multi/04016/2016. Furthermore we would like to thank the Instituto Politécnico de Viseu and CI&DETS for their support.

This work is supported by national funds, through the FCT – Portuguese Foundation for Science and Technology under the project UID/SOC/04011/2019.

REFERENCES

- Web of Science, 'Web of Science (all databases)', 2019. [Online]. Available: https://apps.webofknowledge.com/UA_GeneralSearch_input.do?product=UA&SID=C3WYscgr65PCf4DzATz&search_mode=GeneralSearch.
- VOSviewer, 'VOSviewer - Visualizing scientific landscapes', 2019. [Online]. Available: <http://www.vosviewer.com/>. [Accessed: 12-May-2019].
- N. J. van Eck and L. Waltman, 'VOSviewerManual', 2017. [Online]. Available: http://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.6.pdf.
- S. Abbasian, 'Attitudes and Factual Considerations of Regional Actors Towards Experience Industries and The Tourism Industry: A Swedish Case Study', *Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism*, vol. 16, no. 3, pp. 225–242, Oct. 2016.
- O. Kulusjarvi, 'Resort-oriented tourism development and local tourism networks - a case study from Northern Finland', *Fennia-International Journal of Geography*, vol. 194, no. 1, pp. 3–17, 2016.
- R. Basco and I. Bartkeviciute, 'Is there any room for family business into European Union 2020 Strategy? Family business and regional public policy', *Local Economy*, vol. 31, no. 6, pp. 709–732, Sep. 2016.
- J. R. Gallego-Bono and R. Chaves-Avila, 'The cooperative model of agri-food innovation systems: ANECOOP and the Valencian citrus industry system', *Itea-Informacion Tecnica Economica Agraria*, vol. 111, no. 4, pp. 366–383, 2015.
- S. Godenhjelm, R. A. Lundin, and S. Sjoblom, 'Projectification in the public sector - the case of the European Union', *International Journal of Managing Projects in Business*, vol. 8, no. 2, 2015.
- E. Zikou, N. Varsakelis, and A. K. Sarri, 'Does public sector crowd out entrepreneurship? Evidence from the EU regions', *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, vol. 24, no. 4, pp. 866–881, 2018.
- B. Imanberdiev, A. Cherep, O. Cherep, and T. Mostenska, 'Peculiar features of business incubators functioning: Ukrainian and world experience', *Ukrainian Food Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 324–336, 2018.
- N. Bosma and R. Sternberg, 'Entrepreneurship as an Urban Event? Empirical Evidence from European Cities', *Regional Studies*, vol. 48, no. 6, pp. 1016–1033, Jun. 2014.
- L. Calvet-Mir and H. March, 'Crisis and post-crisis urban gardening initiatives from a Southern European perspective: The case of Barcelona', *European Urban and Regional Studies*, vol. 26, no. 1, pp. 97–112, Jan. 2019.
- M. Eimermann, 'Promoting Swedish countryside in the Netherlands: International rural place marketing to attract new residents', *European Urban and Regional Studies*, vol. 22, no. 4, pp. 398–415, Oct. 2015.
- S. N. Eriksen and J. Sundbo, 'Drivers and barriers to the development of local food networks in rural Denmark', *European Urban and Regional Studies*, vol. 23, no. 4, pp. 750–764, Oct. 2016.
- M. Larsson, 'Environmental Entrepreneurship in Organic Agriculture in Jarna, Sweden', *Journal of Sustainable Agriculture*, vol. 36, no. 1–2, pp. 153–179, Feb. 2012.
- M. Kajanus, J. Kangas, and M. Kurttila, 'The use of value focused thinking and the A'WOT hybrid method in tourism management', *Tourism Management*, vol. 25, no. 4, pp. 499–506, Aug. 2004.
- E. Lafuente, Y. Vaillant, and J. Rialp, 'Regional differences in the influence of role models: Comparing the entrepreneurial process of rural Catalonia', *Regional Studies*, vol. 41, no. 6, pp. 779–795, Aug. 2007.
- C. Lundberg, P. Fredman, and S. Wall-Reinius, 'Going for the green? The role of money among nature-based tourism entrepreneurs', *Current Issues in Tourism*, vol. 17, no. 4, pp. 373–380, Apr. 2014.
- L. Mura and A. Kljucnikov, 'Small Businesses in Rural Tourism and Agrotourism: Study from Slovakia', *Economics & Sociology*, vol. 11, no. 3, pp. 286–300, 2018.
- S. Kerma and A. Gacnik, 'Wine Tourism as an Opportunity for Tourism Development: Examples of Good Practice in Slovenia', *Journal of International Food & Agribusiness Marketing*, vol. 27, no. 4, pp. 311–323, Oct. 2015.
- A.-F. Tulla, I.-V. Stoica, M. Pallares-Blanch, and D. Zamfir, 'Can Naturbanization Promote Environmentally Friendly Built-up Areas? A Comparison Between Cadi-Moixero (catalonia, Spain) and Comana (romania) Natural Parks', *European Countryside*, vol. 9, no. 4, pp. 679–708, Dec. 2017.
- J. Rius-Ulldemolins and V. Gisbert, 'The costs of putting Valencia on the map: the hidden side of regional entrepreneurialism, "creative city" and strategic projects', *European Planning Studies*, vol. 27, no. 2, pp. 377–395, Feb. 2019.
- A. Teodoro, I. Dinis, O. Simoes, and G. Gomes, 'Success factors for small rural tourism units: an exploratory study in the Portuguese region of Serra da Estrela', *European Journal of Tourism Research*, vol. 17, pp. 136–148, 2017.
- V. Kargyte, R. Varnik, and V. Alekneviene, 'Assessment of Bioeconomy Development Potential from the Perspective of Innovation Economics in European Regions', *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development*, vol. 40, no. 4, pp. 492–513, 2018.
- K. Felixova, 'Evaluation of the Absorption Intensity of the Entrepreneurial Support in the Regions Funded Intensely by the Government', *E & M Ekonomie a Management*, vol. 15, no. 1, pp. 17–27, 2012.
- A. Lewandowska, M. Stopa, and G. Humenny, 'The European Union Structural Funds and Regional Development. The Perspective of Small and Medium Enterprises in Eastern Poland', *European Planning Studies*, vol. 23, no. 4, pp. 785–797, Apr. 2015.
- V. D. Rusu and A. Roman, 'Entrepreneurial Activity in the EU: An Empirical Evaluation of Its Determinants', *Sustainability*, vol. 9, no. 10, p. 1679, Oct. 2017.
- J. Kolarikova, O. Dvoulety, and P. Kolarik, 'Economic performance of the NUTS III Regions in the Czech Republic in the context of entrepreneurship subsidies from the EU Structural Funds', *Zbornik Radova Ekonomskog Fakulteta U Rijeci-Proceedings of Rijeka Faculty of Economics*, vol. 36, no. 1, pp. 129–153, 2018.
- R. K. Pamic and A. Belullo, 'Investments' background of entrepreneurial zones in Croatia', *Economic Research-Ekonomska Istrazivanja*, vol. 31, no. 1, pp. 1590–1606, Oct. 2018.
- L. Sygellou, 'An in-situ photoelectron spectroscopy study of the thermal processing of ammonium tetrathiomolybdate, (NH₄)₂MoS₄, precursor', *Applied Surface Science*, vol. 476, pp. 1079–1085, May 2019.
- C. Busu and M. Busu, 'The Role of Knowledge Intensive Business Services on Romania's Economic Revival and

- Modernization at the Regional Level', *Sustainability*, vol. 9, no. 4, p. 526, Apr. 2017.
- K. Cibor, 'Social Economy Sector in Poland and the Role of Non-Governmental Organizations in Its Creation and Development', *Civil Szemle*, vol. 9, no. 4, pp. 53-+, 2012.
- R. Saftescu, E. Simion, C. Paul, and M. Mitroi, 'Governance of Smart Specialisation: Experiences of Four European Regions', *Europolity-Continuity and Change in European Governance*, vol. 10, no. 2, pp. 247-263, 2016.
- P. Del Vecchio and G. Passiante, 'Is tourism a driver for smart specialization? Evidence from Apulia, an Italian region with a tourism vocation', *Journal of Destination Marketing & Management*, vol. 6, no. 3, pp. 163-165, Sep. 2017.
- M. Steen, F. Faller, and E. F. Ullern, 'Fostering renewable energy with smart specialisation? Insights into European innovation policy', *Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography*, vol. 73, no. 1, pp. 39-52, Jan. 2019.
- 허동숙 and 이병민, 'The Crossroad of Industry and Culture: Exploring Strategy of Regional Innovative Growth through Smart Specialization', *The Geographical Journal of Korea*, vol. 53, no. 1, pp. 101-117, 2019.
- E. Jermolajeva, B. Rivza, L. Aleksejeva, V. Sipilova, and I. Ostrovska, 'Smart Growth as a Tool for Regional Convergence: Evidence from Latgale Region of Latvia', *Economics & Sociology*, vol. 10, no. 4, pp. 203-224, 2017.
- J. Raudeliuniene, V. Davidaviciene, M. Tvaronaviciene, and V. Radeckyte, 'A Study of Success Factors of Women's Leadership in E-Commerce', *Terra Economicus*, vol. 16, no. 3, pp. 131-149, 2018.

Design of tool for the study of the economic viability of solar thermal energy projects for industrial steam generation

Miranda, Sepúlveda, Lozano, Montero, Arranz, Rodríguez, Matamoros

Miranda M.T.
Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
tmiranda@unex.es

Sepúlveda F.J.
Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
fsepulveda@unex.es

Lozano F.J.
Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
flozanocortes@unex.es

Montero I.
Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
imontero@unex.es

Arranz J.I.
Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
jiarranz@unex.es

Rodríguez P.
Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
palomard@unex.es

Matamoros M.
Expresión Gráfica
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
manuelmp@unex.es

Abstract— *At present, there is a need to publicize the solar thermal technology of steam generation for industrial processes. That is why in this work a tool has been developed for potential users of these technologies, which does not require extensive technical knowledge. A comparison has been made with another tool of the same functionality and the results show the differences achieved by the different internal calculations that are made to reach a suitable solution for the user.*

Keywords—*solar plants, steam generation, industry, tools, optical performance, ENERMYT.*

IX. INTRODUCTION (HEADING 1)

The industrial sector has an important weight in the consumption of primary energy worldwide, representing around 40% of the total in 2019 [1]. In turn, heat generation processes for industrial processes account for 54% of the total energy consumed in Europe, something that drives the implementation of solar thermal energy systems [2].

In recent years, the use of solar energy in the industrial sector is being promoted. Several international initiatives have been carried out, such as SHC Task 49 of the International Energy Agency (IEA), “Solar heat. Integration in Industrial Processes”[3].

In these works, different possible integration schemes have been defined, a comparison of simulation software and, in general, an evaluation of the solar potential in industrial processes has been carried out, with designers, manufacturers and researchers as main recipients.

Currently, there are simulation tools that allow solar concentration technology projects such as TRANSOL [4,5], TRNSYS [6,7] and THERMOFLOW [8] developed mainly for professionals.

On the other hand, there are simple tools for solar calculations, photovoltaic and low temperature solar industry, which allow end users to perform simulations and assess whether they meet their expectations.

With regard to specific tools for the design of simplified concentration solar installations for industries there are very few and, as an example of them, are SHIP [9] and RESSSPI [10]. The first presents the convenient principal of the limited integration schemes available and the lack of economic analysis in the installation, while the RESSSPI software requires technical experience to perform the simulation, although it provides an option to perform a manual simulation that does not require a large degree of detail.

To expand the options that a user may have, a new simplified tool is proposed, called SOLARMYT, which allows, without the need of extensive technical experience, to carry out simulations, presenting some innovative utilities compared to the tools currently available.

X. MATERIALS AND METHODS

The objective of this tool is to offer the user an analysis of the profitability of a solar installation in an industry.

Se pretende conseguir una herramienta accesible, con una interfaz simple y de fácil manejo para los usuarios.

The calculation tool has been generated in an Excel environment, combined with the use of Matlab to integrate a base of hourly returns for provincial capitals..

It is intended to achieve an accessible tool, with a simple and user-friendly interface for users.

The tool allows the calculation of modules necessary to cover a percentage of demand determined by the user. The calculation model used is as follows:

To calculate the area of mirrors, $A(m^2)$, to cover the demand requested by the user, follow equation (1) that determines it:

$$A = \frac{D \cdot \%d}{DNI \cdot \mu_o \cdot \mu_t} \quad (1)$$

where D , the total anual demand of industry (kWh), $\%d$ the percentage of demand to be supplied by LFC, DNI , Direct Normal Irradiation (W/m^2) and μ_o , μ_t the optical and thermal performances respectively..

The radiation data, for all provincial capitals, have been obtained from Meteonorm v7.1 software.

The thermal performance data has been assumed to be 100%, given that it has a value very close to that figure due to the low thermal losses contemplated, the reduced distance from the steam generation point to the point of consumption and the low temperatures at it operates in this range.

For the calculation of optical performance, the factors shown in equation (2) have been taken into account, where ρ_{pr} , f_{cl-pr} , ρ_{sd} y f_{cl-sd} the reflectance and the cleanliness factor of the primary and secondary mirrors:

$$\mu_o = f_{shading} \cdot f_{ol} \cdot f_{nlp} \cdot \rho_{pr} \cdot f_{cl-pr} \cdot \rho_{sd} \cdot f_{cl-sd} \quad (2)$$

$f_{shading}$, [11], is a factor directly related to the total radiation that the field of mirrors can reflect on the absorber tube and determines the percentage of area of mirrors that remains free of shadows, according to the equation (3):

$$f_{shading} = 1 - \frac{shady\ area}{total\ area} \quad (3)$$

Because the sun's rays do not perpendicularly affect the surface of the mirrors so that they can reflect the rays to the absorber tube, a loss factor known as f_{ol} , [11]. It is calculated with the cosine of the angle that forms the solar incidence vector and the normal surface of each row of mirrors, according to equation (4):

$$f_{ol} = \cos(\delta) \quad (4)$$

Due to the azimuthal component of the Sun at every moment, along the length of the absorber tube there is a phenomenon whereby a section of one end is not illuminated. The quantification of this stretch of tumor that remains to be illuminated is carried out by f_{nlp} , [11], as shown in the equation (5):

$$f_{nlp} = 1 - \frac{no\ lit\ pipe}{Total\ lenght} \quad (5)$$

For the calculation of the optical performance in (1), the behavior of a type installation has been simulated according to the characteristics of Table 1.

SIZING DATA USED

Sizing data	Value	Unit
Number of modules of LFC	8	
Number of mirror rows	10	
Mirror length	6	m
Mirror width	0.5	m
Distance between mirrors	0.1	m
Absorber tube height	3	m

Parameters associated with the characteristics of the solar concentration collector have been taken based on the characteristics of a commercial module.

The result obtained in the simulation, programmed in Matlab, has been a database extracted in Excel format, which contains information on optical performance, on an hourly basis, for all the capitals of the province of Spain.

So, the tool calculates the catchment area necessary to meet the user's energy needs. This has a direct impact on the number of modules that must be installed, which generates economic results based on the following cost curve (6):

$$Investment\ (\text{€}) = 190.32x + 69.482 \quad (6)$$

For this calculation, a study by the Institute for Diversification and Energy Saving (IDAE) that established an average cost for the installation of Fresnel technology, as well as the manufacturer of Fresnel linear collectors, SOLATOM [8].

A. Comparison with RESSPI model

It has been decided to make a comparison with another energy simulation tool that presents differences in the calculation of the optical performance that determines the area of mirrors needed.

The model developed by RESSPI for the calculation of optical performance, does not go through a predictive calculation of the factors that generate losses in the operation of the module. For this calculation, the

RESSSPI tool uses the properties of the mirrors, according to equation (7):

$$\mu_o = \rho \cdot \tau \cdot \alpha \cdot \gamma_{IC} \quad (7)$$

where mirrors solar reflectivity, ρ , glass envelope solar transmissivity, τ , receiver tube solar absorptivity, α and geometric intercept factor of the collector, γ_{IC} , are the constants that determine the optical performance.

In this way, RESSSPI obtains the concentrated energy through the equation (8):

$$\dot{Q} = A_{net} \cdot DNI \cdot \mu_{o,\theta} \cdot IAM(\theta) \cdot \eta_{clean} \quad (8)$$

where Incidence Angle Modifier (9), IAM, is the variable that will make the performance take one value or another, depending on the angle of solar incidence with respect to the normal surface.

$$IAM(\theta) = \frac{\mu_{opt}(\theta)}{\mu_{opt,0}(\theta=0)} \quad (9)$$

For linear Fresnel collectors, two AMIs must be taken into account, both the transverse and longitudinal angle of incidence.

XI. RESULTS AND DISCUSSION

As a result, a simple and intuitive graphical interface has been developed so that the user does not need very specific technical knowledge for its use.

As input data, the following parameters are shown:

Location: It is intended to extract the coordinates and the meteorological file of the place that corresponds to it to perform the calculations of solar position and radiation.

Available surface (m²). It will limit the solution found by the tool so that it does not exceed the area marked by the user.

Percentage of demand to be supplied. It is the objective data that will determine the area of mirrors to be installed.

Production schedule. It will determine the number of hours per year in which solar production can be used in processes that demand steam.

Monthly/annual thermal demand (kWh).

Fuel. It is intended to know the price of traditional fuel to make the study of economic viability of the installation.

Financial aids (€). If the user has financial assistance, the repayment terms of the installation will be reduced.

The tool will display, as output data, the results screen represented in Fig.1:

TECHNICAL SOLUTION		ECONOMIC SOLUTION	
Modules to Install		Net Present Value	
Total necessary area (m2)		Internal Rate of Return	
% Coverage		Recovery period (years)	
% Exploitation		Initial investment (€)	

Fig. 1 Technical and economic solution

In addition to the input and output data, discussed above, the tool has the following functionalities:

A. Introduction of demand month by month

It is common to find online tools of this type where the user must enter the industry demand data annually, along with indicating the months that there is industry production.

This causes the tool to divide the total annual demand by the number of months with production, assuming that the demand is regular every month.

In this way, it becomes very difficult to simulate for an industry that works intensifying its production a few months.

In the present work, the option of introducing the demand on an annual or monthly basis has been implemented, thus it is possible to simulate those cases where the industries operate in a campaign regime.

B. Printing results in Excel format

Once the user has performed the simulation, and the technical and economic solutions are shown on the screen, a button has been enabled in the interface to print the results. This data is stored in an attached tab, which allows the user to have the results of each simulation in Excel format.

C. Calculation of optical performance

As a result as described in (2), an internal tab of calculations in Excel format has been included. This tab is composed of 54 columns (referring to the 52 provincial capitals and the 2 autonomous capitals) and 8,760 hours (number of total hours of a year).

With this database generated, represented in Fig. 2, it has been possible to offer an hourly performance of a hypothetical installation in each of the locations (with the LFC described in Table 1).

Hour	Albacete	Alicante	Almería	Ávila	Badajoz
1	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
10	0.00%	30.42%	30.21%	24.52%	24.45%
11	0.00%	40.76%	40.97%	36.18%	36.43%
12	0.00%	44.05%	44.93%	42.33%	43.35%
13	0.00%	44.02%	44.97%	42.39%	0.00%
14	0.00%	42.22%	43.76%	41.85%	43.56%
15	0.00%	32.73%	35.63%	34.01%	0.00%

Fig. 2 Hourly performance by location

So, optical performances are obtained taking into account the factors described in (3), (4) and (5).

D. Comparison of results between tools

A simulation example has been carried out that allows comparing the results obtained between the tools of RESSSPI and SOLARMYT.

The input data used to make the comparison are shown in Fig. 3:

Inputs	
Location	Cáceres
Schedule	8 a.m. to 10 p.m.
Weekly production schedule	Monday to Saturday
Mensual demand	100,000 kWh
Fuel	Gasoil
Aid	0 €

Fig. 3 Simulation inputs

Cáceres has been chosen as the location for presenting good annual radiation data.

Production schedule is the option implemented in the SOLARMYT tool that has more hours of sunshine, so it is expected as the option that will generate better results.

Weekly production option from Monday to Saturday has been implemented as it is a common option among the industries.

For demand, a regular value has been taken throughout the year.

Finally, for the economic aspect, the comparison has been made using diesel fuel as a traditional fuel, since this is presented as the fuel that implies a greater cost for the industries, and there has not been any economic aid.

Fig. 5 shows the solutions obtained for each of the tools.

	Solution	
Tool	RESSSPI	SOLARMYT
Modules	24	24
Coverage	33.54%	25.00%
%Utilization	70.40%	63.53%
IRR	21.48%	16.59%
Recovery period (years)	6	9
Initial investment	180,900.00 €	180,949.61 €

Fig. 5 RESSSPI and SOLARMYT solutions

The main differences observed in the technical aspect are the results related to coverage and utilization percentages.

RESSSPI tool shows better values of these outputs, which may be due to the differences in the calculation of optical performance in both tools. This calculation in RESSSPI, by using a different procedure from the loss factors used by SOLARMYT, obtains higher values, which lead to better results.

Regarding the economic solution, the IRR and recovery period values are those that differ significantly between the two tools. Better performance values and a difference in the maintenance costs of these technologies are the main causes of these differences.

XII. CONCLUSIONS

The most relevant findings in the present work are the following:

Watching the amount of simulation software that requires a great technical qualification, in this work a tool has been obtained that has a simple interface so that an end user can perform an approximate simulation without the need for a high degree of technical knowledge.

A database of hourly optical performances has been obtained as a result of an exact calculation of these performances based on the factors of shadows, optical losses and no lit pipe.

Within the tools that are available, the difference in results is revealed, so it is recommended that users perform simulations with different tools to have different analyzes.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank the Junta de Extremadura and FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional “Una manera de hacer Europa”) for its support through the economic aid for research groups (GR18137), as well as the the project Research, Development and Renewable energies for the improvement of business fabric in Centro, Extremadura y Alentejo (0330_IDERCEXA_4_E).

REFERENCES

- BP Energy Outlook 2019 Available online: https://www.bp.com/content/dam/bp-country/es_es/spain/documents/downloads/PDF/bp-energy-outlook-2019_book.pdf (accessed on Mar 26, 2019).
- Farjana, S.H.; Huda, N.; Mahmud, M.A.P.; Saidur, R. Solar process heat in industrial systems – A global review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018. <http://task49.iea-shc.org/> (accessed on Jun 12, 2019).
- Popescu, L.L.; Popescu, R.Ş.; Damian, A. Simulation Study of a Solar Residential Heating System. In *Proceedings of the Energy Procedia*; 2017.
- Teodorescu, D.; Vartires, A. A Study of the Influence of Solar Panels Coupled with Thermal Systems for a Residential Building, by Applying Methods of Evaluation as en 15316-4-3:2014 and TRANSOL. In *Proceedings of the Energy Procedia*; 2016.
- Khan, M.S.A.; Badar, A.W.; Talha, T.; Khan, M.W.; Butt, F.S. Configuration based modeling and performance analysis of single effect solar absorption cooling system in TRNSYS. *Energy Convers. Manag.* 2018.
- Ren, H.; Lu, Y.; Zhang, Y.; Chen, F.; Yang, X. Operation simulation and optimization of distributed energy system based on TRNSYS. In *Proceedings of the Energy Procedia*; 2018. <https://www.thermoflow.com/index.html> (accessed on Jun 20, 2019)
- Frasquet, M. SHIPcal: Solar Heat for Industrial Processes Online Calculator. *Energy Procedia* 2016, 91, 611–619.
- M. Frassetto, J. Bannenberg, M. Silva, and Y. Nel, “RESSPI: The Network of Simulated Solar Systems for Industrial Processes,” 2019, pp. 1–9.
- F. J. Pino, R. Caro, F. Rosa, and J. Guerra, “Experimental validation of an optical and thermal model of a linear Fresnel collector system,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 50, no. 2, pp. 1463–1471, 2013.

Carbon Cycle Assessment Via Global Ecological Human Dimension Modelling

Safwat H. Shakir Hanna

*Texas Gulf Coast Environmental Data (TEXGED) Center,
Department of Chemical Engineering
Prairie View A&M University*

Prairie View, TX 77446

USA, The as A&M University System.

Safwat_shakir@Yahoo.com

lealon I. martin

*Texas Gulf Coast Environmental Data (TEXGED) Center,
Department of Chemical Engineering*

Prairie View A&M University

Prairie View, TX 77446

USA, The as A&M University System.

Abstract— In this paper we present an ecological model that captures the total impact of human behaviors on the Earth's environmental ecosystems and on the availability of useable biological and physico-chemical carbon. To this end, our scientific study deals with a parametric Ecological Human Dimension (EHD) and its impact on the Earth's carbon cycle. Using our model, we will investigate how EHD affects modes for carbon distribution and conversion in the biosphere. The model addresses a main question: can we identify processes that enable the efficient conversion of sink carbon (e.g., carbon in the atmosphere) into source carbon (e.g., consumables, energy, or other commodities) that may or may not involve a human dimension? The EHD model provides predictive parameters and variables that relate to the processing and allocation of carbon on a global scale. As an illustration, the EHD model is demonstrated and used to provide insights into how advances in science and technology, changes human behavior, and forward-thinking policy designs might enable societies to meet desired targets for reductions in greenhouse gas emissions to avoid perilous climate change-related forecasts.

Keywords— *Ecological Human Dimension, Carbon Cycle Assessment, Carbon Dioxide CO₂ in ppm, Social Dimension*

¹INTRODUCTION

Human population has increased in an alarming concern. This accompanied by human activities that caused the alteration of global Earth ecosystems and has led to increasing the global atmospheric carbon dioxide concentration. This according the Oak Ridge National Laboratory (ORNL) Research Centre, by indicating that the CO₂ increased by more than 30% since the beginning of Industrial Revolution. The human population has impacted about 30-50% of land surface. In this respect the increasing of fossil fuel and other producing materials of carbon dioxide has impacted on the Earth global. Atmospheric CO₂ reflects the rate of change and balance between anthropogenic carbon emissions and the

dynamics of a number of terrestrial and ocean processes that remove or emit CO₂ [1] [2]. Additionally, the speed and magnitude of human induced climate change and mitigation requirements to stabilize the atmospheric CO₂ concentration has been determined the long-term evolution of this balance.

In this paper we are going to discuss the following points: 1) Ecological Human Dimension (EHD) and its impact on the Earth's carbon cycle; 2) Different scenarios with the changes and rate of human population growth globally on the global CO₂ and the impacts on sustainability of the global economy; 3) To develop a model that captures the ubiquity of human activity on carbon cycles – is palpable by inspection. Human populations are increasing at an alarming rate, about one billion people every 10 to 12 years.

²IMPORTANCE OF CARBON AND ECOLOGICAL HUMAN DIMENSION

Carbon is an important element for all living organisms and all vegetation and living systems. Additionally, the carbon is one of the most significant elements in the Earth crust. Also, carbon can be found in the form of hydrocarbons such as fossil fuel, methane gas and crude oil. The crude oil and fossil fuel are the most important source of energy on this planet Earth. In this respect the two major reasons that the carbon is the backbone element of the molecules of life; the first compared from long lasting, stable bonds, the carbon has the greatest variety of bonding pattern available to it. The carbon bonding can produce different varieties, patterns, shapes of molecules, this in addition the carbon can form

stable longest chemical bonds, which make the different molecules that can support the living organisms and in consequence the human dimension of life. Further, the carbon cycle will be affected too according the human activities and the transformation of carbon atoms from one chemical bond to another or in chains globally (Figure 1).

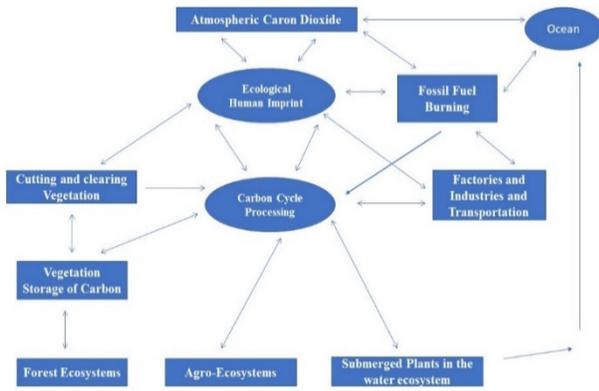


Figure 1: Global Carbon Cycle Processing and Ecological Human Imprint (EHI)

The quantity of carbon living expressed by green plants, the only beings capable of capturing the radiant energy of the sun [3]. Further, the green plants makeup half of all living matter [4] [5]

Regarding human activity over the last two centuries, including combustion of fossil fuel and clearing of forests, has led to a dramatic increase in the concentration of atmospheric carbon dioxide. Global atmospheric CO₂ concentrations have risen by 31% since 1850, and they are now higher than they have been for 420,000 years [6].

Integrating conceptually similar models of the growth of marine and terrestrial primary producers yielded an estimated global net primary production (NPP) of 104.9 peta-grams of carbon per year, with roughly equal contributions from land and oceans. Approaches based on satellite indices of absorbed solar radiation indicate marked heterogeneity in NPP for both land and oceans, reflecting the influence of physical and ecological processes. The spatial and temporal distributions of ocean NPP are consistent with primary limitation by light, nutrients, and temperature. On land, water limitation

imposes additional constraints. On land and ocean, progressive changes in NPP can result in altered carbon storage, although contrasts in mechanisms of carbon storage and rates of organic matter turnover result in a range of relations between carbon storage and changes in NP [7].

k. MATERIALS AND METHODS

Carbon information and CO₂ data are collected from different published sources and organizations in the world. These organization are 1) Oak Ridge National Laboratory (ORNL); 2) US Department of Energy; 3) Union of Concerned Scientists [https://www.ucsusa.org/search/site/CO2\[9\]](https://www.ucsusa.org/search/site/CO2[9]); 4) World Research Institute (WRI)-Earth-Trends [10]; 5) United Nation Environmental Program (UNEP) [11]; 6)United Nation Development Program (UNDP) [12]; 7) World Wildlife Fund (WWF)[13]; 8) Global Footprint Network [14]; and 9) World Bank [15]

The data were analyzed using the regression, Correlation and statistical methodologies using Sigma Plot Software Version 8 [16]), STELLA software [17]. Additionally, the carbon and carbon dioxide data and the Ecological Human Index (E_{HI}) can be calculated as an index of human impacts on the carbon and carbon cycle process. The construction of the model of Ecological Human Dimension (EHD) and carbon globally has been developed using Stella Software Version 10.06. The model developed to predict the CO₂ condition globally and what are the predictions of CO₂ globally for the next century.

a. The Ecological Human Dimension (EHD) Model

The EHD model has been developed through use of Stella Modelling Software using several parameters. These parameters are: human population, carbon dioxide concentration in PPM in the atmosphere, energy intensity use which is a measure of the energy efficiency of a nation's economy. It is calculated as units of energy per unit of GDP. It may reflect requirements for general standards of living and weather conditions in an economy, rate of change in carbon dioxide concentration in the atmosphere, Global Biological Capacity (GBC), Global Biological Demand (GBD), global energy production, global energy consumption, and energy intensity

1. RESULTS

The level of carbon dioxide in the atmosphere reached 400 parts per million for the first time in human history at Mauna Loa Observatory in Hawaii in [May last year \[9\]](#). That same level has been reached again in the last few days. This year we've [hit the target \[18\]](#) in March, two months earlier, and it will stay above 400ppm for longer. At that rate, it will only be a handful of years until we are living in an atmosphere permanently above 400 ppm. However, current result in 2019, the carbon dioxide in the atmosphere is reaching 413.67 PPM as indicated by atmospheric concentration at Mauna Loa Observatory <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>. [19]

The results showed that by increasing the human population annually, the global carbon dioxide concentration in the atmosphere has positively increased to above 414 ppm in march 2019 and will increase to reach PPM in year 2100 (Figures 2 and 3). It is clear from these two graphs that global carbon dioxide concentration is going to increase with an alarming rate unless the nations will take serious actions by reducing using fossil fuels to reduce the impact of accumulation of CO₂ in the atmosphere or to increase the plantations of green plants which can absorb the accumulation of CO₂. Additionally, the relationship between the concentration CO₂ in the atmosphere in PPM and energy consumption is in positive correlation (Figure 4). However, the analysis of the relationship between global carbon dioxide concentration in PPM in the atmosphere and the global energy intensity, showed that there is negative correlation which indicates that with decreasing the energy intensity with increasing global CO₂ is to indicate that somewhat efficiency in using green energy in spite of increasing global CO₂ (Figure 5).

The analysis of EHD model and scenarios has indicated the following results:

- 1) At the 0.5% the world human growth rate (i.e. the minimum growth rate prediction) (Table 1 and Figure 6).
 - a. The human population will reach around 6.8 billion people in year 2050, and around 10.4 billion people in year 2100.
 - b. The CO₂ global concentration in the atmosphere will reach 347 PPM in year 2050 and 374 PPM in year 2100.
 - c. The total global energy production will be 6,778.56 Million tons of oil equivalence (Mtoe) in year 2050, and 10,441.44 Mtoe in year 2100.
 - d. The total global energy consumption will be 6,756.45 (Mtoe) in year 2050 and 10,419.33 Mtoe in year 2100.
- 2) At the 1.1 % the world human growth rate (i.e. the current growth rate prediction) (Table 2 and Figure 7).
 - a. The human population will reach around 8.3 billion people in year 2050, and around 14.3 billion people in year 2100.
 - b. The CO₂ global concentration in the atmosphere will reach 415.92 PPM in year 2050 and 537.02.PPM in year 2100.
 - c. The total global energy production will be 16,012.40 Million tons of oil equivalence (Mtoe) in year 2050, and 32,239.39 Mtoe in year 2100.
 - d. The total global energy consumption will be 15,990.29 (Mtoe) in year 2050 and 32,217.18 Mtoe in year 2100.
- 3) At the 1.5 % the world human growth rate (i.e. the relaxed growth rate prediction) (Table 3 and Figure 8).
 - a. The human population will reach around 11.8 billion people in year 2050, and around 25.1 billion people in year 2100.
 - b. The CO₂ global concentration in the atmosphere will reach 487.48 PPM in year 2050 and 751.9 PPM in year 2100.
 - c. The total global energy production will be 25,602.0 Million tons of oil equivalence (Mtoe) in year 2050, and 61,033.0 Mtoe in year 2100.
 - d. The total global energy consumption will be 25,579.93 (Mtoe) in year 2050 and 61,010.92 Mtoe in year 2100.

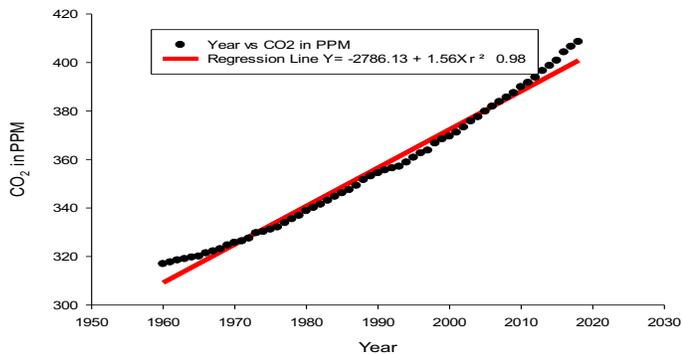


Figure 2 Relationship between years and CO₂ at global scale in ppm

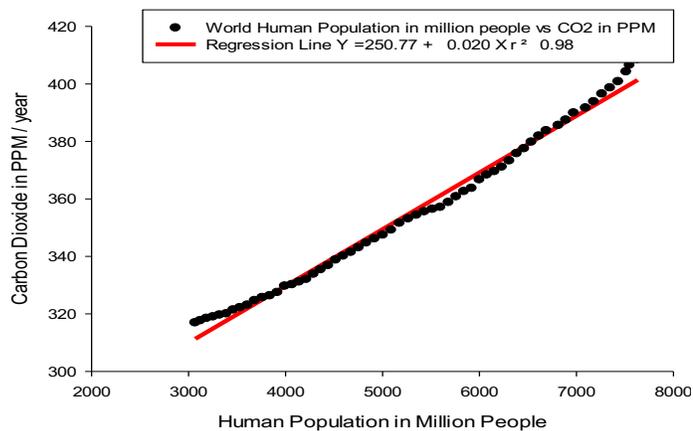


Figure 3 Relationship between human population in million and carbon dioxide (CO₂) in PPM

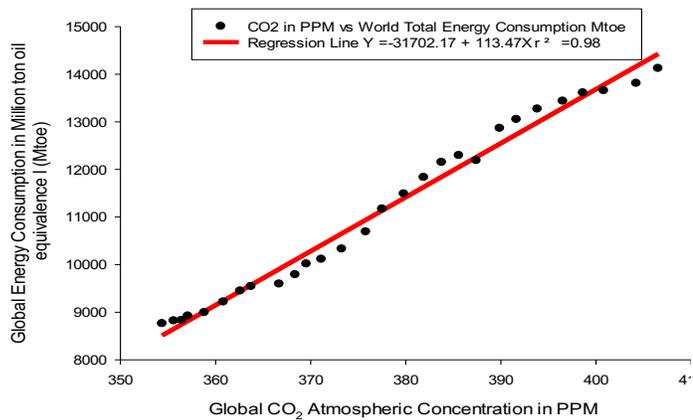


Figure 4 Relationship between atmosphere CO₂ concentration in PPM and the global energy consumption in million tons of oil equivalence (Mtoe)

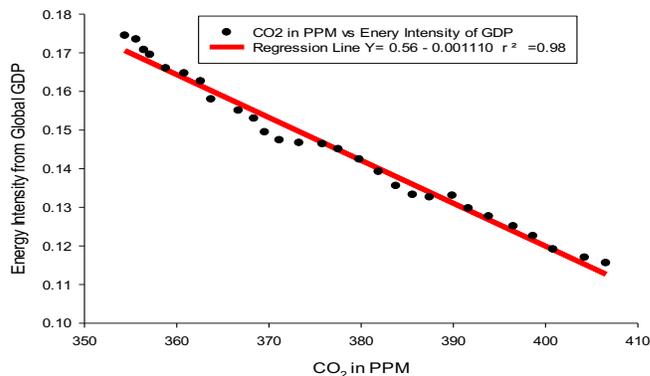


Figure 5 Relationship between global energy intensity and global carbon dioxide in PPM

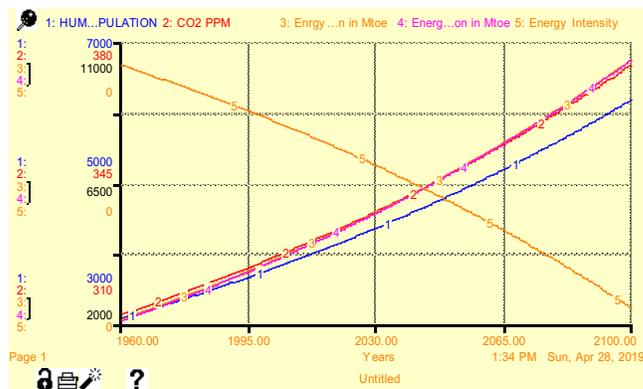


Figure 6 Shows the Model Prediction for Global Human Population at the Growth Rate of 0.5% Annually, CO₂ Prediction, Global Energy Production and Global Energy Consumption

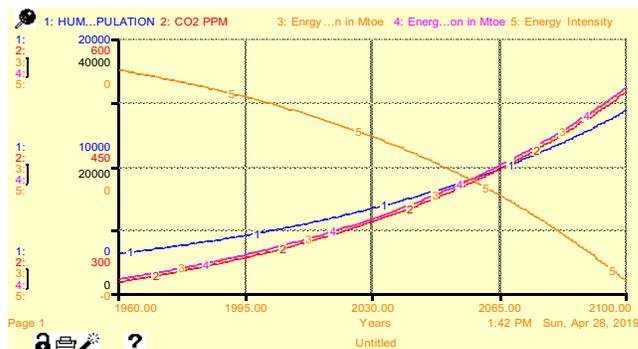


Figure 7 Shows the Model Prediction for Global Human Population At The Growth Rate Of 1.1% Annually, CO₂ Prediction, Global Energy Production and Global Energy Consumption

From the above analysis, we can extract that with increasing human population, the excess carbon that all humans have dumping into the atmosphere for the last half century and years to come (i.e. from deforestation and from burning coal, oil, and natural gas) has pushed CO₂ levels more than 25% higher than when measurements of air began at Mauna Loa in the late 1950s. Additionally, it will continue the increase of CO₂ in the atmosphere as the demands for energy increases and increases of consumption as the results of human population increase. In this respect, the critical measurements by the Scripps Institution of Oceanography represent the longest continuous monitoring of CO₂ in air. However, facing a [funding crisis](#), Scripps has astoundingly had to resort to [crowdsourcing](#) to make up the shortfall in federal funding. They are one of only two agencies that carries out measurements at Mauna Loa (the other one being [NOAA](#), that began monitoring about a decade later than Scripps), <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/2014/06/25/an-update-on-keeling-curve-funding-support/>

^mDISCUSSION

Global CO₂ showed that it is going to increase and the human population is the driver to increase the CO₂. In this respect the human population is increasing by a rate of 1.1% to 1.5% annually. It is expected the Global CO₂ will reach between 374 PPM in the year 2100 on the very conservative assessment to 751 PPM in the year 2100 on the relaxed assessment of human population growth of 1.5%. This is due to several factors such as household change, the growing use of energy and other growing of urbanization and other aspects of uses of energy. Our model indicates that human population will be between 10.1 billion people in the year 2100 on the basis of the conservative assessment, 25.1 billion people in the year 2100 on the relaxed assessment. This indicates that the human population on the basis of conservative assessment will increase by 2.4 billion people during the years from the year 2019 to the year 2100. Further the human population on the basis of relaxed assessment will increase by 17.5 billion people from the current estimates of recorded data 2019. This is an alarming indication, that

human population should take a notice. Additional, CO₂ concentration in the atmosphere will be increasing by 341 PPM from the current recorded data 2019 to the year 2100. This means during the next 80 years the CO₂ concentration in the atmosphere will increase by 83% with at least 1% of increase annually. Another factor that has impacted globally on the concentration of CO₂ in the atmosphere is the global economic development to meet the growing population globally. In spite the efforts of UN agencies to create sustainable development and educate the human population in the reduction or controlling of human population, and improve the standard of living, this has led to support the reduction of CO₂ globally in the efforts of reducing global warming that is the result of increasing CO₂. The impact of economic development has shown in the energy sensitivity analysis, which showed a negative relation with increasing the CO₂ that indicated the efficiencies in the use of the energy as a parameter of GDP.

Our results of EHD model has supported the results that published by many authors such as [19] and [20].

ⁿ CONCLUSIONS

In this conclusion, the human population size, age, and urbanization are expected in many parts of the world to increase and changes with alarming rate. In this respect, this will be led to affect energy use and greenhouse gas emissions such as CO₂.

Substantial changes in population size, age structure, and urbanization are expected in many parts of the world this century. Although such changes can affect energy use and greenhouse gas emissions, emissions scenario analyses have either left them out or treated them in a fragmentary or overly simplified manner. We carry out a comprehensive assessment of the implications of demographic change for global emissions of carbon dioxide. Using an energy– economic growth model that accounts for a range of demographic dynamics, we show that slowing population growth could provide 16–29% of the emissions reductions suggested to be necessary by 2050 to avoid dangerous climate change. We also find that aging and urbanization can substantially influence emissions, in particular world regions.

Table 1. Global Population, Global CO₂ Concentration in the Atmosphere in PPM, Energy Intensity, Energy Production, and Energy Consumption from Year 1960 to year 2100 in an interval of 10 years and the Predicted Data from Year 2010 to 2100 as Predicted by EHD Model on the Conservative Assumption at 0.5% Every Ten Years Interval

Years	Human population in Million People	CO2 PPM	Energy Intensity	Energy Production in Mtoe	Energy Consumption in Mtoe
1960	3,068.30	312.14	0.21	2,105.30	2,083.19
1970	3,225.62	315.28	0.21	2,526.91	2,504.80
1980	3,391.00	318.59	0.21	2,970.13	2,948.02
1990	3,564.86	322.07	0.2	3,436.07	3,413.96
2000	3,747.63	325.72	0.2	3,925.91	3,903.80
2010	3,939.78	329.57	0.19	4,440.86	4,418.75
2020	4,141.77	333.61	0.19	4,982.21	4,960.10
2030	4,354.12	337.85	0.18	5,551.31	5,529.20
2040	4,577.37	342.32	0.18	6,149.60	6,127.49
2050	4,812.05	347.01	0.17	6,778.56	6,756.45
2060	5,058.77	351.95	0.17	7,439.77	7,417.66
2070	5,318.14	357.13	0.16	8,134.88	8,112.77
2080	5,590.81	362.59	0.16	8,865.62	8,843.51
2090	5,877.45	368.32	0.15	9,633.84	9,611.73
2100	6,178.80	374.35	0.14	10,441.44	10,419.33

Table 2. Global Population, Global CO₂ Concentration in the Atmosphere in PPM, Energy Intensity, Energy Production, and Energy Consumption from Year 1960 to year 2100 in an interval of 10 years and the Predicted Data from Year 2010 to 2100 as Predicted by EHD Model on the Moderate Assumption at 1.1% Every Ten Years Interval

Years	Human Population in million people	CO2 PPM	Energy Intensity	Energy Production in Mtoe	Energy Consumption in Mtoe
1960	3,068.30	312.14	0.21	2,105.30	2,083.19
1970	3,425.08	319.27	0.21	3,061.46	3,039.35
1980	3,823.34	327.24	0.2	4,128.80	4,106.69
1990	4,267.91	336.13	0.19	5,320.25	5,298.14
2000	4,764.17	346.05	0.18	6,650.24	6,628.13
2010	5,318.14	357.13	0.16	8,134.88	8,112.77
2020	5,936.52	369.5	0.15	9,792.14	9,770.03
2030	6,626.81	383.31	0.13	11,642.11	11,620.00
2040	7,397.36	398.72	0.12	13,707.19	13,685.08
2050	8,257.51	415.92	0.10	16,012.40	15,990.29
2060	9,217.68	435.12	0.08	18,585.65	18,563.54
2070	10,289.50	456.56	0.05	21,458.11	21,436.00
2080	11,485.94	480.49	0.03	24,664.58	24,642.47
2090	12,821.50	507.2	0.00	28,243.89	28,221.78
2100	14,312.36	537.02	-0.04	32,239.39	32,217.28

Table 3. Global Population, Global CO₂ Concentration in the Atmosphere in PPM, Energy Intensity, Energy Production, and Energy Consumption from Year 1960 to year 2100 in an interval of 10 years and the

Predicted Data from Year 2010 to 2100 as Predicted by EHD Model on the

Relaxed Assumption at 1.5% Every Ten Years Interval

Years	Human Population in Million people	CO2 PPM	Energy Intensity	Energy Production in Mtoe	Energy Consumption in Mtoe
1960	3,068.30	312.14	0.21	2,105.30	2,083.19
1970	3,564.86	322.07	0.2	3,436.07	3,413.96
1980	4,141.77	333.61	0.19	4,982.21	4,960.10
1990	4,812.05	347.01	0.17	6,778.56	6,756.45
2000	5,590.81	362.59	0.16	8,865.62	8,843.51
2010	6,495.59	380.68	0.14	11,290.44	11,268.33
2020	7,546.80	401.71	0.11	14,107.68	14,085.57
2030	8,768.13	426.13	0.09	17,380.85	17,358.74
2040	10,187.11	454.51	0.06	21,183.73	21,161.62
2050	11,835.74	487.48	0.02	25,602.04	25,579.93
2060	13,751.17	525.79	-0.02	30,735.39	30,713.28
2070	15,976.58	570.3	-0.07	36,699.48	36,677.37
2080	18,562.13	622.01	-0.13	43,628.78	43,606.67
2090	21,566.12	682.09	-0.2	51,679.47	51,657.36
2100	25,056.26	751.9	-0.27	61,033.03	61,010.92

REFERENCES

- [1] C.L.Sabine., M. Heimann., P. Artaxo., D. C. E. Bakker, C-TA.Chen, C. B. Field, *et al.*, "Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate and the Natural World.," ed, 2004, pp. 17–44.
- [2] J. G. Canadell, D. Pataki, R. Gifford, R. A. Houghton, Y. Lou, M. R. Raupach, *et al.*, "Terrestrial Ecosystems in a Changing World, International Geosphere–Biosphere Programme Series, Springer, Berlin," *International Geosphere–Biosphere Programme Series*, pp. 59–78, 2007.
- [3] V. Vernadsky, *Geochemistry and the Biosphere.*: Synergetic Press 2007.
- [4] V. Vernadsky., *The Biosphere* vol. First Published in Russian, 1926.
- [5] V. Vernadsky, *The Biosphere*. Langmuir, New York: Copernicus Publication 1998.
- [6] C. B. Field, J. Sarmiento, and B. Hales, "The Carbon Cycle of North America in a Global Context," USA2006 2006.
- [7] C. B. Field, J. Michael, M. J. Behrenfeld, J. T. Randerson, and P. Falkowsk, "Primary Production of the Biosphere: I[n]tegrating Terrestrial and Oceanic Components," *Science*, vol. 281, pp. 237-240, 1998.
- [8] UNEP, "The Emissions Gap , A UN Environment Synthesis Report.," <https://blog.ucsusa.org/melanie-fitzpatrick/weve-never-been-here-before-400ppm-of-co2-measured-in-the-atmosphere-at-mauna-loa-126?>, 2017.
- [9] U. C. Scientist, "<https://blog.ucsusa.org/melanie-fitzpatrick/weve-never-been-here-before-400ppm-of-co2-measured-in-the-atmosphere-at-mauna-loa-126?> Union Concerned Scientist We’ve Never Been Here Before: 400ppm of CO2 Measured in the Atmosphere at Mauna Loa.," Accessed 2019.
- [10] WRI, "1960-2005 EarthTrends Environmental Information, World Resource Institute (WRI). ," *World Resource Institute: WRI* <http://Earthtrends.wri.org/>.
- [11] UNEP ,<http://maps.grida.no/go/graphic/a-planet-in-ecological-debt>." A Planet in Ecological Debt, Arendal Maps and Graphics Library: UNEP. ,2009.
- [12] UNDP, "Human Development Data (1990-2017)," <http://hdr.undp.org/en/data>. , vol. UNDP Human Development Data (1990-2017). <http://hdr.undp.org/en/data>., Accessed 2019.
- [13] WWF, "Living Planet Report 2012. Biodiversity, biocapacity and better choices. Lead editors: Rosamunde Almond and Richard McLellan. Editorial team: Nigel Dudley, Emma Duncan, Natasja Oerlemans and Sue Stolton ." WWF 2012.
- [14] G. F. Network, "Calculation methodology for the national footprint accounts.," Global Footprint Network, Oakland, CA, 94607-3510, USA 2008.
- [15] W. Bank., "World Bank. Global Strategy To Improve Agricultural and Rural Statistics. Report No. 56719-GLB. 1818 H Street, NW Washington, DC 20433. 55 Pages.," 2011.
- [16] SPSSSCIENC., *Sigmaplot Version 8.*" www.spssscience.com/sigmaplot ., 2002.
- [17] B. Richmond., "STELLA An Introduction to System Thinking," *High Performance Systems, Inc. The System Thinking Company.*, p. 165 2001.
- [18] <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>, Accessed on April 9, 2019.
- [19] D. C. Parker, A. Hessel, and S. C. Davis, "Complexity, land-use modeling, and the human dimension: Fundamental challenges for mapping unknown outcome spaces," *Geoforum.*, vol. 39, pp. 789–804., 2008.

Analisis of relevant factors in the development of solar concentrator plants for industry

Miranda, Sepulveda, Lozano, Ventura, Montero, Arranz, Rodriguez

Miranda M.T.
Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
tmiranda@unex.es

Sepúlveda F.J.
Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
fsepulveda@unex.es

Lozano F.J.
Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
flozanocortes@unex.es

Ventura V.
Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
vventura@alumnos.unex.es

Montero I.
Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
imontero@unex.es

Arranz J.I.
Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
jiarranz@unex.es

Rodríguez P.
Ingeniería Mecánica, Energéticas y de los Materiales
Universidad de Extremadura
Badajoz, Spain
palomard@unex.es

Abstract— *Sustainability, energy saving or an innovative character can be the different reasons that lead an industry to opt for implementing solar thermal technology in its industrial processes. However, there are certain factors that can make this decision not to be profitable, from an economic point of view. In the present work an analysis of the factors that should predominate in the decision making is carried out. Thus, the location, the production schedule or the fuel used play a fundamental role, while the seasonality or the weekly work schedule does not present as much relevance in the results.*

Keywords—*solar plants, industry, factors, location, schedule, seasonality, fuel, aids*

[21] INTRODUCTION

Solar energy is a primary source of clean, abundant and renewable energy that can greatly help reduce problems related to climate change, by being used to meet the needs of different sectors of society.

Among the most important applications are the heat of industrial processes and electric power generation. To carry out the use of the solar resource in applications of medium (100 to 400 °C) and high temperature (greater than 400 °C) it is necessary to concentrate the direct solar radiation.

In recent years, a wide variety of concentration solar collectors have been developed and tested for various applications. Among them is the Fresnel linear concentrator (LFC), considered one of the most promising technologies due to the advantages it has over

other solar collectors. The LFC has the ability to meet thermal needs within the range of 100 to 300 ° C [1].

Several studies have shown that the optical quality and thermal efficiency of CFLs is slightly lower than that of parabolic trough collectors (PTC), due to factors such as the high influence of the angle of incidence and the cosine factor [2,3]. However, obtaining a higher concentration, or a higher optical efficiency, does not imply that this system is more optimal. In this sense, LFC has a series of advantages over PTC, such as its greater structural simplicity and the use of flat mirrors or very low curvature.

In this way, and given the need to implement renewable, economic and efficient energy sources in industrial applications, LFC technology can meet these objectives, finding numerous evidence of its implementation in production plants [4,5].

Although the great potential of solar energy for industrial processes is revealed, the role of solar energy in the industrial sector remains even smaller, possibly caused by a lack of knowledge about the technology of the end user. Therefore, it is necessary to develop new tools and applications that provide the end user with simple and direct information on the advantages of using this technology.

To study the possible implementation of this technology in an industry, it is intended to make an

analysis of the factors involved to study its influence in decision making.

Thus, factors such as the location of the installation, which will mark the radiation available at the site; shifts and work days, which will show what hours of radiation match the industry's production; seasonality, which will indicate how the energy demand of the industry is distributed; The fuel used and the aid available, among others, are fundamental for the economic analysis and will be used in this work.

[22] MATERIALS AND METHODS

For the study of solar concentration projects for industrial applications, a proprietary tool developed by the ENERMYT research group, from the area of knowledge of Thermal Machines and Motors of the UEx, has been used.

The calculation tool works in an Excel environment, for which a commercial solar thermal collector model has been integrated, studying its performance in all the provincial capitals of the Spanish territory. With this time calculation executed in the Matlab software, a database has been generated on which the tool to perform internal energy calculations is supported and thus offer a technical and economic solution to the user.

The factors that have been analyzed are the following:

Location. The option of selecting any province capital of Spain has been implemented, dividing the country into 12 parts (3x4) to observe the effect that the latitude and longitude of the place have on the radiation available at the site.

Schedule. 4 possible work shifts have been implemented. First shift (8 am to 3 pm), second shift (3 pm to 10 pm), first and second shift and 24h / day. This is intended to assess the extent to which the number of production hours used by an industry affects the profitability of a concentrating solar installation.

Weekly production schedule. The scenarios in which an industry produces all week, from Monday to Saturday or from Monday to Friday have been contemplated. It is intended to obtain a quantification of the influence that could have a reduction in the number of days of production per week.

Seasonality. 6 different production regimes have been established throughout the year. A regular energy demand for the whole year, a regular demand with intensification of it in summer, regular demand with decrease in summer and regimes for campaigns (3 months in summer, 6 first months of the year and 6 last months).

Fuel. The options of using diesel, biomass and natural gas as traditional fuels have been

implemented to know their impact on the economic field.

Financial aids. The subsidy to be set in the examples corresponds to the Junta de Extremadura as the managing body. This subsidy supports, among other renewable energy technologies, solar thermal installations of medium temperature concentration for industrial applications with 40% of the total initial investment, up to a maximum of € 300,000.

Six types of analysis were performed, as shown in Fig. 1, under the criterion of the dominant factor, that is, for each option within the factor under study the remaining intervening parameters were kept constant. The default values were as follows:

Location: Badajoz.

Daily production schedule: First and second shift.

Weekly production schedule: Monday to Saturday.

Annual (mensual) energy demand: 1,200,000 kWh (100,000 kWh/month).

Fuel: Gasoil.

Financial aids: 0 €.

Fig. 1 shows a diagram of the possibilities implemented for each factor, indicating those that have been taken by default for the analyzes performed.

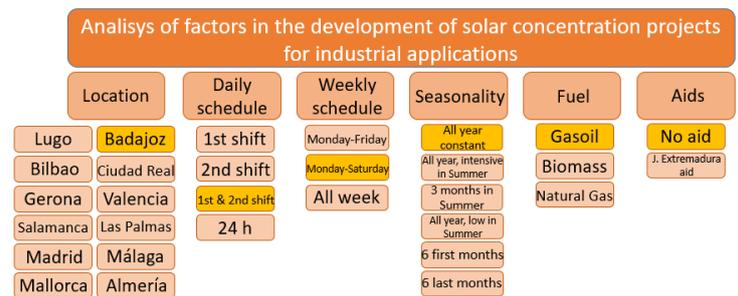


Fig. 1 Analyzed factors

In order to analyze these factors, the breadth of the range in which the period of return on investments moves has been studied and, in this way, a hierarchy of factors has been established.

[23] RESULTS AND DISCUSSION

The results shown below reflect the influence of different factors that are part of the simulation.

[24] Location

In Fig. 2 it is observed that, in the area located to the Northwest and North of Spain, the period of recovery of the investment is significantly increased with respect to the rest of Spain. In the central and southern areas of Spain, the recovery period is maintained in a closed range of between 8 and 10 years, with the locations of

Malaga and Almeria having the most favorable numbers.

This is due to the large differences in direct incident radiation that exist throughout the country, with Northern Spain being affected by this situation.

Inputs		Solution			
Location	Modules	NPR	IRR	Recovery period (years)	Initial investment
Lugo	31	389,737.90 €	11.06%	13	233,706.31 €
Bilbao	51	239,004.46 €	6.60%	18	384,439.75 €
Gerona	21	465,101.97 €	15.39%	9	158,339.59 €
Salamanca	20	472,641.30 €	16.01%	9	150,802.92 €
Madrid	22	457,567.95 €	14.83%	10	165,876.27 €
Palma de Mallorca	22	457,567.95 €	14.83%	10	165,876.27 €
Badajoz	19	480,177.97 €	16.68%	9	143,266.25 €
Ciudad Real	24	442,494.61 €	13.80%	10	180,949.61 €
Valencia	24	442,494.61 €	13.80%	10	180,949.61 €
Las Palmas	24	442,494.61 €	13.80%	10	180,949.61 €
Málaga	17	495,251.31 €	18.20%	8	128,192.91 €
Almería	17	495,251.31 €	18.20%	8	128,192.91 €

Fig. 2 Solutions based on location

[25] *Schedule*

Fig. 3 shows the results obtained for the schedule analysis.

Inputs		Solution			
Schedule	Modules	NPR	IRR	Recovery period (years)	Initial investment
1st shift	23	439,259.96 €	14.09%	10	173,412.94 €
2nd shift	53	213,159.80 €	6.15%	19	399,513.10 €
1st and 2nd shift	19	480,175.32 €	16.68%	9	143,266.25 €
24h	29	409,427.53 €	11.82%	12	218,632.97 €

Fig. 3 Solutions based on schedule

For the first shift, from 8 am to 3 pm it is observed that the return period of the installation is 10 years. For an industry that operates only in the second shift, from 3 pm to 10 pm, the return period increases to 19 years. Thus, an industry that operates in first shift and second shift will reduce the repayment term of the installation up to 9 years. Finally, an industry that operates on an uninterrupted schedule, 24 hours a day, will present an initial investment recovery period of 12 years.

First shift includes the hours where the Sun is in its zenith, a reason that causes great optical performances that, together with the radiation peaks, causes the installation to generate greater production during those noon hours.

Second shift has the handicap of not being purely solar, that is, until 10 PM in most of the year, there are many hours where the sun has already reached sunset.

However, it is observed that the productive regime that offers the best results is the one that includes first shift and second shift, since it distributes the demand between more hours of sunshine than any other shift.

[26] *Weekly production schedule*

Fig. 4 shows the results obtained under the weekly production schedule analysis. It can be seen that the difference between producing all week or suppressing some days is minimal. The values obtained from the

recovery period of the installation are 9 years for all possible cases.

Inputs		Solution			
Production days	Modules	NPR	IRR	Recovery period (years)	Initial investment
Monday-Friday	20	470,188.71 €	15.96%	9	150,802.92 €
Monday-Saturday	19	480,177.97 €	16.68%	9	143,266.25 €
All week	19	481,931.73 €	16.71%	9	143,266.25 €

Fig. 4 Solutions based on weekly production schedule

[27] *Seasonality*

Fig. 5 shows the results obtained for the seasonality analysis.

Inputs		Solution			
Seasonality	Modules	NPR	IRR	Recovery period (years)	Initial investment
All year constant demand	19	480,177.97 €	16.68%	9	143,266.25 €
All year, intensive in Summer	20	472,641.30 €	16.01%	9	150,802.92 €
3 months Summer	49	254,077.81 €	6.92%	18	369,366.41 €
All year, low in Summer	24	442,494.61 €	13.80%	10	180,949.61 €
6 first months	27	419,884.59 €	12.49%	11	203,559.63 €
6 last months	27	419,884.59 €	12.49%	11	203,559.63 €

Fig. 5 Solutions based on seasonality

It is observed that the most favorable seasons are those where there is regular and intensive consumption throughout the year during the summer months, with a 9-year repayment term. The following are those that reduce their consumption in summer and those that have their production intensified either the first 6 months or the 6 second months of the year. Finally, an industry that produces only under a summer campaign regime will present an investment recovery period of 18 years.

[28] *Fuel*

Fig. 6 shows the results obtained based on the traditional fuel used by an industry.

Inputs		Solution			
Fuel	Modules	NPR	IRR	Recovery period (years)	Initial investment
Gasoil	19	480,177.97 €	16.68%	9	143,266.25 €
Biomass	19	127,567.87 €	9.45%	12	143,266.25 €
Natural Gas	19	81,829.26 €	6.94%	16	143,266.25 €

Fig. 6 Solutions based on fuel

It can be seen that using diesel fuel as a traditional fuel, at a price of 0.066 € / kWh, a return period of the installation of 9 years is obtained.

Using biomass as a fuel for the boiler, at an estimated price of 0.059 € / kWh, the return on initial investment rises to 12 years.

Finally, with natural gas as fuel, at a price of 0.03993 € / kWh, the recovery period is up to 16 years.

It is noted that the price difference is very significant, which is why recovery times can be reduced by almost half by moving from Natural Gas to Diesel.

[29] *Financial aid*

Fig. 7 shows the results obtained when an economic aid is applied, depending on the traditional fuel used by an industry.

Inputs		Solution				
Aid	Modules	NPR	IRR	Recovery period (years)	Initial investment	Financial aid
Gasoil	19	537,484.47 €	24.83%	6	85,959.75 €	57,306.50 €
Biomass	19	184,874.37 €	16.84%	7	85,959.75 €	57,306.50 €
Natural Gas	19	139,135.76 €	12.64%	10	85,959.75 €	57,306.50 €

Fig. 7 Solutions based on financial aid

With the help offered by the Junta de Extremadura, a company that uses diesel will experience a 33% reduction in the repayment term, from the initial 9 years to the 6 years.

For the option of biomass as a traditional fuel, the recovery period is reduced from 12 years to 7.

Finally, the least attractive option from the point of view of the recovery of the investment will be Natural Gas, whose amortization falls from 16 years to 10 years.

It is observed, therefore, that the possibility of having external financing to deal with part of the initial investment, causes the results to improve, from the economic point of view.

[30] CONCLUSIONS

The most relevant findings in the present work are the following:

It is clear that the location chosen for the installation site is a fundamental factor. In the national territory, the differences between the North and the South are significant enough to make a facility lose its appeal if it is located in the North.

The production schedule that the industry follows, on the other hand, is very decisive in the implementation of this technology, given that a reduction in production hours after sunset, will

have a negative impact on the amortization of the installation.

The fuel used, as well as its combination with possible financial aids and subsidies, are essential to make sense of these types of projects and provide them with economic viability for industries.

Seasonality, except for those industries that have a very punctual regime, is not a factor of too much weight in the decision making for the implementation of this technology.

Finally, the weekly production schedule is not shown as a relevant factor.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank the Junta de Extremadura and FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional “Una manera de hacer Europa”) for its support through the economic aid for research groups (GR18137), as well as the the project Research, Development and Renewable energies for the improvement of business fabric in Centro, Extremadura y Alentejo (0330_IDERCEXA_4_E).

REFERENCES

- Duffie J. y W. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*. Segunda edición, 3-45. Wiley Easten Ltd., New York, USA (1991).
- El Gharbi, N.; Derbal, H.; Bouaichaoui, S.; Said, N. A comparative study between parabolic trough collector and linear Fresnel reflector technologies. *Energy Procedia* 2011, 6, 565-572.
- Rungasamy, A.E.; Craig, K.J.; Meyer, J.P. 3-D CFD Modeling of a Slanted Receiver in a Compact Linear Fresnel Plant with Etendue-Matched Mirror Field. In *Proceedings of the Energy Procedia*; 2015.
- Haagen, M.; Zahler, C.; Zimmermann, E.; Al-Najami, M.M.R. Solar Process Steam for Pharmaceutical Industry in Jordan. In *Proceedings of the Energy Procedia*; 2015.
- SolarConcentra Companies and projects ship descriptions 2017, 70.

Análise de Variáveis de Gestão Ambiental em Parques Industriais - O Caso de Estudo da Zona Industrial de Mirandela, Portugal

Milena Ianela, Artur Gonçalves, Manuel Feliciano, Leonardo Furst, Lorena Rosado, Marina Alejos, Vanessa

Corneli, Felipe Romero

Milena Clarindo Ianela
Estudante do Mestrado em Tecnologia Ambiental
Instituto Politécnico de Bragança
 Bragança, Portugal
milenaianela@gmail.com

Vanessa Medeiros Corneli
Departamento Academico de Ambiental (DAAMB)
Universidade Tecnológica Federal do

Paraná, Campus Campo Mourão.
 Campo Mourão, Brasil
vanessacorneli@utfpr.edu.br

Artur Gonçalves*, Manuel Feliciano,
 Leonardo Furst
Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal.
*ajg@ipb.pt

Felipe Romero
 Instituto de la Construcción de Castilla y León, Valladolid, España,
fromero@iccl.es

Lorena Rosado, Marina Alejos
INCOSA - Investigación y Control de Calidad S.A.
 León, Espanha
libeasa@incosa.es

Resumo - Na atualidade, os Parques Industriais (PIs) oferecem serviços modernos e grandes infraestruturas. Além disso, atividades fornecidas por PIs podem gerar efeitos diversificados na região envolvente e dessa forma, incentivar um avanço das comunidades locais. A fim de estimular o desenvolvimento sustentável, os países aplicaram estratégias e políticas destinadas a facilitar a transição para Parques Industriais Ecológicos (PIE), nos quais, possuem meios sustentáveis para apoiar a gestão, mitigar os impactos ambientais e reduzir custos combinando os três pilares: ambiental, social e económico. O objetivo deste estudo foi analisar componentes de gestão ambiental das empresas sediadas no parque industrial da cidade de Mirandela em Portugal, no âmbito do projeto POCTEP REHABIND. Para esta avaliação, foi aplicado um conjunto de indicadores, que contou com um levantamento de princípios relacionados com PIE, definição de critérios para identificação e seleção de indicadores potenciais. A obtenção de dados deu-se por meio de vistas *in loco* e realização de auditorias ambientais. Desenvolveram-se sete indicadores no contexto individual das empresas (foram estruturados em categorias adicionais para que fosse abordado outros dados em relação ao indicador principal), denominados como: empresas que possuem ISO 14001; empresas que reutilizam água; empresas que possuem fontes renováveis; empresas com pré-tratamento de efluentes; empresas com recolha seletiva de resíduos e com recuperação de resíduo orgânico; empresas que possuem mecanismos de monitoramento ambiental e empresas com medições de emissões atmosféricas (Todos calculados em (%)). Além dos indicadores foi desenvolvida uma análise de benchmarking, em que, foi possível identificar os elementos ambientais que cada empresa cumpria ou não, além de indicar as interações existentes, seja ela prestações de serviços, compra, venda, projetos e infraestruturas partilhadas ou qualquer tipo de colaboração. No que se diz respeito aos indicadores, a maioria das empresas possuíram baixas percentagens em relação a fatores ambientais. As organizações exibiram interações entre elas,

indicando avanços no contexto de cooperação industrial, ocasionando melhorias no desenvolvimento do PI.

Palavras Chave — *Indicadores ambientais; Parque Industrial Ecológico; Benchmarking; Gestão Ambiental*

°INTRODUÇÃO

Os PIs que podem ser definidos como sistemas de ativos industriais dentro de um único local [1]. Segundo o relatório elaborado pela UNEP (United Nations Environment Programme), por Francis & Erkman [2], estimativas indicam que pode haver mais de 20.000 PIs em todo o mundo. Através de PIs, as empresas favorecem economias de escala em termos de desenvolvimento do uso do solo, construção e instalações comuns [3]. Devido a essas vantagens, os PIs têm desempenhado um papel importante nas estratégias nacionais de desenvolvimento de muitos países e têm sido insubstituíveis no que diz respeito ao desenvolvimento econômico regional [4].

De acordo com Liu, et al. [5], os PIs foram promovidos por muitos países como uma forma de favorecer o desenvolvimento industrial. Contudo, o pilar ambiental do desenvolvimento sustentável foi omitido durante o rápido progresso desses PIs, ocasionando problemas, como o consumo excessivo de recursos e o aumento da poluição ambiental causada por atividades industriais nesses parques. A fim de solucionar tais problemas e estimular o desenvolvimento sustentável nos PIs, os países aplicaram estratégias e políticas distintas para facilitar seu avanço rumo a um Parque

Industrial Ecológico (PIE), contribuindo com o desenvolvimento sustentável [6].

Parques industriais ecológicos fornecem meios sustentáveis para apoiar o gerenciamento de um PI a fim de mitigar os impactos ambientais e reduzir custos [7]. Os PIEs facilitam a utilização eficiente de resíduos, a partilha de recursos e o crescimento econômico [8]. As funções das indústrias num PIE complementam-se, melhorando os produtos, economizando recursos e energia, e diminuindo os impactos ambientais [9]. O desenvolvimento de PIEs surgiu como uma aplicação em nível inter-empresarial de ecologia industrial, que também foi chamada de simbiose industrial (SI) [10]. A filosofia inicial por detrás da simbiose industrial era a interação mutualística de diferentes indústrias num sistema de troca de materiais como água, energia, subprodutos, infraestrutura e habitat natural, resultando em benefícios econômicos, sociais e ambientais [11]. Tal reflexão indica que o desenvolvimento de indicadores práticos para a avaliação quantitativa e ambiental tem sido um fator crucial para o sucesso contínuo de PIEs [12]. A avaliação ambiental é uma ferramenta indispensável para os PIEs, tendo como referencial a análise do desempenho pela emissão de poluentes ambientais e pela intensidade do consumo de materiais e energia, mais além do que é habitualmente praticado em parques industriais comuns [13].

Dessa forma, o presente estudo propôs-se desenvolver um trabalho de análise de um PI do ponto de vista da gestão ambiental. Esta pesquisa teve como objeto analisar variáveis de gestão ambiental do PI da cidade de Mirandela em Portugal, por meio da aplicação de indicadores ambientais e uma análise de *benchmarking*.

2. METODOLOGIA

A análise das variáveis de gestão ambiental do PI da cidade de Mirandela foi realizada por meio da aplicação de indicadores, obtidas no âmbito auditorias ambientais e um estudo de *Benchmarking*. Estas ferramentas foram utilizadas para avaliar a adequação de práticas de sustentabilidade no PI de Mirandela.

A Tabela I apresenta os indicadores selecionados, no qual, os mesmos foram classificados em empresarias e subdivididos em categorias que englobam parâmetros adicionais.

TABELA I. Indicadores selecionados e categorias abordadas.

Indicadores (%)	Categorias
Empresas que possuem ISO 14001	- Gestor Ambiental - Manual de Boas Práticas Ambientais - Plano de Emergência Ambiental - Auditorial Ambiental

Empresas que possuem aproveitamento de água	- Reutilização da água - Medidas para minimizar o consumo de água
Empresas que possuem fontes de energia renováveis	- Medidas para minimizar o consumo de energia
Empresas com pré-tratamento de efluentes	- Análise da água
Empresas com medições de emissões atmosféricas	- Sistema de tratamento - Medidas para minimizar a quantidade de emissões de GEE
Empresas com recolha seletiva e recuperação de resíduo orgânico	- Não possuiu categoria
Empresas com existência de mecanismos de monitorização	- Não possuiu categoria

a. Realização de auditorias ambientais nas empresas do PI de Mirandela

Foram realizadas auditorias ambientais em 21 empresas do Parque Industrial de Mirandela, no âmbito do projeto Rehabind (ref.^a 0399_REHAB_IND_2_E), juntamente com a empresa parceira INCOSA - Investigación y Control de Calidad S.A. As auditorias tiveram como objetivo apoiar as empresas do PI e a obtenção de dados para os indicadores no contexto empresarial (individual) e para o estudo de *Benchmarking*. Para este estudo os resultados obtidos apresentaram caráter anónimo, razão pela qual não se fará referência a nenhuma organização em particular, devido a confidencialidade dos dados.

b. Análise de Benchmarking

Para realizar uma análise de *benchmarking* entre as empresas, contou-se com o auxílio de uma matriz, em que se relacionavam critérios ambientais (estabelecidos a partir das áreas do questionário aplicado nas auditorias ambientais) e as empresas participantes da pesquisa. O estudo baseou-se no pressuposto de que, quanto mais as empresas obedecessem requisitos avaliados, mais pontos lhes seriam atribuídos, para que, no final fosse possível realizar uma comparação entre as organizações. A que obtivesse maior pontuação, possuiria mais aspetos positivos no contexto ambiental do PI.

Afim de analisar estatisticamente a relação dos critérios com cada empresa, foi utilizado o software SPSS, que através do teste de hipótese não paramétrico Kendall's tau_b, buscou-se encontrar correlação nas respostas dos empresários.

Num segundo momento a análise de *benchmarking* também contou com um gráfico para vetorizar as interações entre as empresas, em que, foi gerado a partir o *software* Gephi, visando representar a interação industrial entre empresas, incluindo genericamente qualquer prestação de serviço ou colaboração entre elas. Para este propósito foi construída uma matriz que

representava quais eram os fluxos de interação, no qual, foi possível verificar a existência e o número de interações entre as empresas dentro do PI.

c. Aplicação dos indicadores no contexto empresarial

A aplicação dos indicadores citados na Tabela I no contexto empresarial, teve por base os dados obtidos através da aplicação das auditorias ambientais realizadas nas empresas do PI de Mirandela.

Foi utilizado o *software* Excel para tratamento e organização das informações. Todos os dados, foram transformados em dados binários para que posteriormente pudessem ser gerados gráficos para desenvolvimento, interpretação e aplicação dos indicadores.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Parque Industrial analisado (Figura 1) situa-se na cidade de Mirandela pertencente ao concelho com o mesmo nome, onde predominam, entre outras, empresas de enchidos, de granitos, de materiais de construção civil, de móveis e sofás, de fermentos, leveduras e adjuvantes, de cogumelos, galvanizadoras de alumínio para a construção civil, lagares de azeite, carpintarias, serralharias e oficinas de reparação de automóveis.

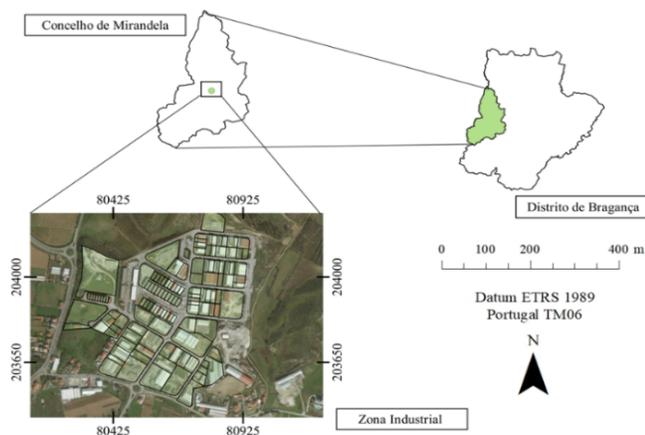


Figura 2. Localização do parque industrial da cidade de Mirandela, Portugal.

A partir dos resultados obtidos, a aplicação dos indicadores no contexto individual das empresas do PI de Mirandela será descrita abaixo especificadamente para cada indicador.

a. Percentagem de empresas que possuem ISO 14001

A certificação ISO 14001 (ISO, 2015) estabelece requisitos para a gestão mais eficaz dos aspetos ambientais das atividades das organizações. De acordo com a Figura 15, apenas 9,5% das empresas do PI

possuem ISO 14001, demonstrando o baixo interesse dos empresários pela normativa que trás diversos benefícios e contribui para que a organização tenha um uso racional da energia e dos recursos, além de promover a redução dos custos ao longo do tempo.

Também foram analisados parâmetros como a existência de um gestor ambiental (profissional dedicado apenas para as questões ambientais) na empresa, porém, em concordância, em 90,5% dos casos, as empresas não possuíam um responsável pela gestão ambiental. Neste contexto, é recomendado que as organizações possuam um gestor dedicado a esta componente, pois além das atividades que decorrem da implementação e manutenção da ISO 14001, este profissional pode desempenhar muitas outras atividades no controlo dos aspetos ambientais da organização (ex. matérias primas, resíduos, efluentes, etc.), garantindo que a técnica utilizada seja a mais adequada e gerando menores impactos no ambiente.

Adicionalmente, foi avaliado se as empresas dispunham de um manual de boas praticas ambientais (MBA) - (documento escrito) e um plano de emergência ambiental (PEM), sendo constatado que apenas 19% possuíam manual de BPA e 28,6 possuíam o PEA, que são consideradas percentagens baixas, já que segundo Serpa [14], nas últimas décadas, aconteceram muitos episódios que sensibilizaram as comunidades quanto à necessidade de serem adotadas ações específicas para o controle ambiental e na gestão de riscos associados às atividades industriais, principalmente as com elevado risco (Figura 2).

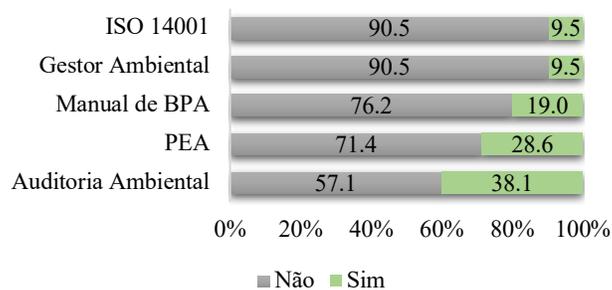


Figura 3. Percentagem de empresas que possuem ISO 14001 e outros parâmetros avaliados.

No que respeita ao desenvolvimento de auditorias ambientais, verificou-se que 38,1% das empresas já realizaram algum tipo de auditoria ambiental e 57,1% nunca passaram por esse processo, na maioria dos casos, pelos empresários não demonstrarem interesse no serviço.

Para Camila & Pinheiro [15], embora seja uma sugestão explícita da ISO 14001, vale destacar, que a

demonstração do comprometimento da alta direção por meio da sua participação ativa nas decisões e eventos relacionados ao SGA facilita a integração das áreas da empresa e permite a disseminação da responsabilidade ambiental entre fornecedores, prestadores de serviços e clientes. É necessário ressaltar que a realização de auditorias ambientais conjuntas para as empresas do PI é uma alternativa inteligente para reduzir custos e beneficiar um todo.

b. Percentagem de empresas que reutilizam água

Ainda que o reuso vem se tornando uma das principais fontes de água, na avaliação deste indicador foi verificado que somente 9,5% das empresas tinham mecanismos de reutilização de água (Figura 3).

Geralmente, tem-se observado menor quantidade de produtos químicos para o tratamento da água reutilizada, refletindo em menos tóxicos liberados para o ecossistema aquático [16].

Em contrapartida de acordo com a Figura 3, um maior percentual dessas empresas possuía medidas para minimizar o consumo da água, indicando que mesmo que não existissem métodos para o reuso, os empresários se mostraram conscientes no contexto consumo de água. Na maioria dos casos, foi verificado que as empresas dispuseram de mecanismos como: torneiras e descargas inteligentes, substituição da mangueira pela vassoura no momento de limpeza, máquinas para lavar econômicas, ponteiros que controlam a pressão da água fixadas nas mangueiras e algumas empresas que usufruíam da água para seu processo industrial ocasionalmente reutilizavam essa água para outras funções.

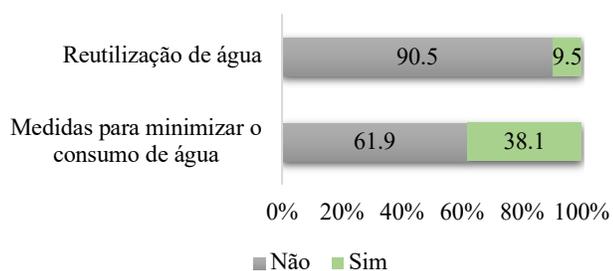


Figura 4. Percentagem de empresas que reutilizam água e possuem medidas para minimizar seu consumo.

c. Percentagem de empresas que possuem fontes de energia renováveis

De acordo com a Figura 4, os resultados demonstram que 28,6% das empresas do PI utilizam algum tipo de fonte renovável para seu consumo e que 71,4% não dispõem de nenhuma fonte renovável, utilizando energia diretamente da rede elétrica.

O desenvolvimento de fontes de energia renováveis é importante para a economia, porque além de serem responsáveis pela segurança energética, permitem uma diminuição na demanda por combustíveis fósseis. Constata-se que emissões de GEE serão reduzidas em cerca de um décimo em comparação com 2005 [17].

Na análise *in loco* verificou-se que a maioria das fontes renováveis adotadas pelas empresas foram as oriundas de energia solar, contendo painéis fotovoltaicos implantados. Fontes renováveis provenientes de biomassa, como lenha e outros tipos de biomassa (confidencialidade a empresa), foram igualmente mencionadas.

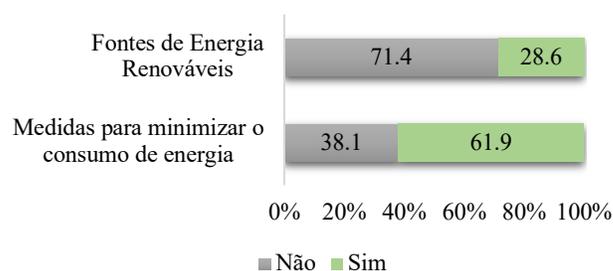


Figura 5 Percentagem de empresas que possuem fontes renováveis e contêm medidas para minimizar o consumo de energia.

Num segundo parâmetro analisado, “Medidas para minimizar o consumo de energia”, verificou-se que 61,9% das empresas dispunham dessas medidas e 38,1% não dispunham das mesmas (Figura 4).

Das empresas que possuíam de algum mecanismo para minimizar o consumo de energia, no momento da auditoria, identificaram-se ações como: substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas; substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares T8 por T5; utilização de iluminação LED e utilização de balastos eletrônicos. Medidas de consciência ambiental também foram citadas, como o simples ato de desligar a luz quando não necessário e dar prioridade à iluminação natural.

Num estudo de benchmarking para um diagnóstico energético, de sectores distintos, realizado por Ferreira et al. [18], sugere propostas de intervenção e melhorias para as empresas, como a substituição de fontes energéticas e dos sistemas de iluminação; implementação de um Sistema de Gestão de Energia e instalação de um Sistema Solar Fotovoltaico.

d. Percentagem de empresas com pré-tratamento de efluentes

Na abordagem deste indicador, foram examinados empreendimentos considerados potencialmente poluidores, ou seja, apenas foram considerados os que continham descargas provenientes do processo industrial. Dado o exposto, a Figura 5 exibe que 42,9% do total das empresas participantes possuíam algum tipo de pré-tratamento para as descargas das águas do seu processo industrial, 14,3% não continham nenhum tipo de pré-tratamento para as descargas e 42,9% não geravam nenhum tipo de efluentes a não ser o sanitário.

Das empresas que realizavam o pré-tratamento, o método mais comum era o de tanques de decantação, cuja funcionalidade era separar, por meio da gravidade, os sólidos sedimentáveis que estavam contidos na água do processo, sendo estes sedimentados no fundo do tanque de decantação, onde acabam sendo removidos como lodo, enquanto o efluente, livre dos sólidos, decanta pelo vertedouro.

Neste indicador, também foi analisada a percentagem de empresas que realizavam análise da água, sendo por processo interno ou por laboratório externo. A Figura 5 indica que 52,4% das empresas realizam análise da água e 47,6% não executam nenhum tipo de análise. É previsto que todas as indústrias realizem análise de potabilidade água de consumo humano, para verificar se o método de abastecimento ou a água fornecida pela companhia de abastecimento está dentro dos padrões estipulados pelo Decreto-Lei nº 306/2007, de 27 de Agosto, para o consumo humano. Assim como análise para águas residuais, afim de averiguar se as mesmas serão retornadas para os corpos hídricos após o devido tratamento de acordo com o Decreto-Lei nº 236/1998, de 01 de Agosto.

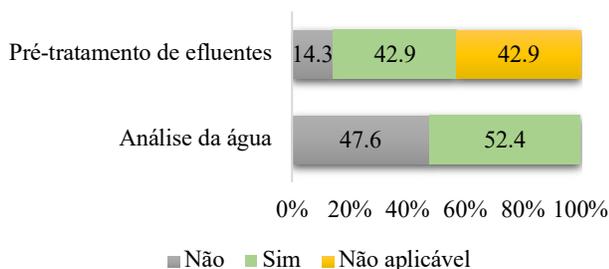


Figura 6. Percentagem de empresas que possuem pré-tratamento de efluentes e análise da água.

e. Percentagem de empresas com recolha seletiva de resíduos e com recuperação de resíduo orgânico

Dentre as empresas do PI de Mirandela, foi quantificado que 90,5% contem recolha seletiva de

resíduos e somente 9,5% não a possuem (Figura 6). O fato exposto, indica a boa consciência dos empresários, visto que, quase todas as empresas possuem sistema de recolha, contribuindo para que os resíduos retornem para o ciclo que pertence, aumentando potencialmente seu tempo de vida útil. A recolha seletiva é essencial, pois sem ela, o valor económico do resíduo sólido não pode ser recuperado. Segundo Islam & Jashimuddin [19], os países desenvolvidos estão caminhando para uma sociedade sustentável, com estratégia de desperdício zero, economia circular e uso de resíduos para geração de energia.

Foi verificado que as empresas que não possuíam sistema de recolha, dispunham os resíduos gerados em contentores comuns que eram dispersos pelo PI, provocando desperdício, pois dessa forma deixa-se de reutilizar ou reciclar materiais como vidro, papel, papelão, metais e plásticos que podem dinamizar um mercado gerador de trabalho e por outro lado, com um significativo gasto para enterrar esses resíduos.

Algumas empresas foram definidas como “não aplicável”, para o parâmetro de recuperação de resíduos orgânicos, devido principalmente ao seu ramo e por não possuírem refeitório. Dentre as empresas geradoras de resíduos orgânicos, foi constatado que 28% realizavam a recuperação, indicando que todas recuperavam, já que um total de 71,4% não eram aplicável (Figura 6). Os resíduos orgânicos e subprodutos gerados pelas empresas são tratados e transportados por operadores licenciados e capacitados.

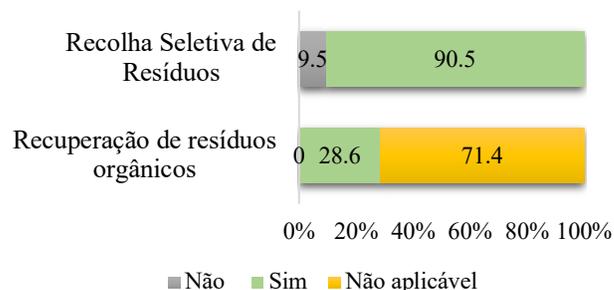


Figura 7 Percentagem de empresas com recolha seletiva e recuperação de resíduos orgânicos.

f. Percentagem de empresas que possuem mecanismos de monitorização ambiental

A monitorização ambiental é um fator crucial para sucesso dos PIs no contexto de um parque industrial ecológico. 57% das empresas possuem algum mecanismo para monitorização ambiental e 43% demonstraram o inverso. Das empresas que continham monitorização, foi verificado que as mesmas possuíam

sistemas como medições de ruído, medições de emissões gasosas, realização de análises de água, acompanhamento da condição do solo e até mesmo a realização de auditorias ambientais.

g. Percentagem de empresas com medições de emissões atmosféricas

Na aplicação deste indicador, foram analisadas apenas empresas que são consideradas potencialmente poluidoras, ou seja, as empresas que continham algum foco de poluição direta à atmosfera, como empresas com chaminés, ou outras fontes de emissão que não fossem difusas. Destas constatou-se que apenas 23% realizavam medições para verificar se as concentrações dos poluentes emitidos estavam de acordo com o máximo estabelecido pela legislação pertinente. Já 14,3% dessas empresas não realizavam nenhum tipo de medição (Figura 8).

Os resultados da Figura 7 demonstram que 50% das empresas que contem algum foco de emissão atmosférica possuem medidas para minimizar os GEE. Em contrapartida, os outros 50% das empresas não dispunham de nenhum mecanismo para minimizar essas emissões. Foi constatado ainda, que 75% das empresas que emitiam gases dispunham de algum sistema de tratamento, que na maioria dos casos eram filtros de manga ou filtros de carvão ativado contra a poluição do ar.

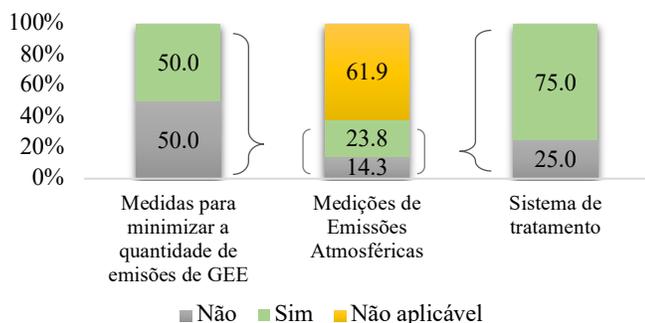


Figura 7 Percentagem de empresas que possuem algum tratamento gasoso e medidas para minimizar a quantidade de emissões de GEE.

h. Análise de Benchmarking

A Figura 9 demonstra a relação entre o cumprimento dos critérios estabelecidos e as empresas. Dessa forma, foi possível verificar que o critério mais cumprido nas empresas, foi da esfera de resíduos, com grande parte das empresas a realizarem a recolha, segregação e armazenamento dos resíduos. Já critérios como posse de Registo EMAS (Eco-Management and Audit Scheme), cogeração de energia, medidas para minimizar a poluição sonora e infraestrutura(s) em comum, não são cumpridos por nenhuma organização.

A empresa que mais obedeceu os critérios contou com uma pontuação de 13 pontos de um total de 21 critérios. No outro extremo, diversas empresas cumpriam um escasso número de critérios, pontuando quatro, três e até apenas um critério.

Para a análise estatística do coeficiente de Kendall's tau_b realizada, verificou-se que muitas relações critério-empresa não foram correlacionáveis estatisticamente. Em contrapartida, outros critérios possuíam forte correlação entre si a nível de significância 0,01 e 0,05. Como por exemplo a nível de 0,01 de significância verificou-se que todas as empresas que possuem mecanismos de monitoramento ambiental, possuem medições de ruído; todas que possuem fontes de energia renovável possuem pré-tratamento de efluentes; todas que possuem um PEA possuem mecanismos para minimizar o consumo de água. Já para nível de significância 0,05, todas as empresas que possuem um PEA, também possuem espaço verde; todas que reutilizam água possuem interações com outras empresas; todas que realizam pré-tratamento de efluentes também realizam análise da água; todas que segregam resíduo sólido possuem armazenamento adequado dos mesmos; entre outros.

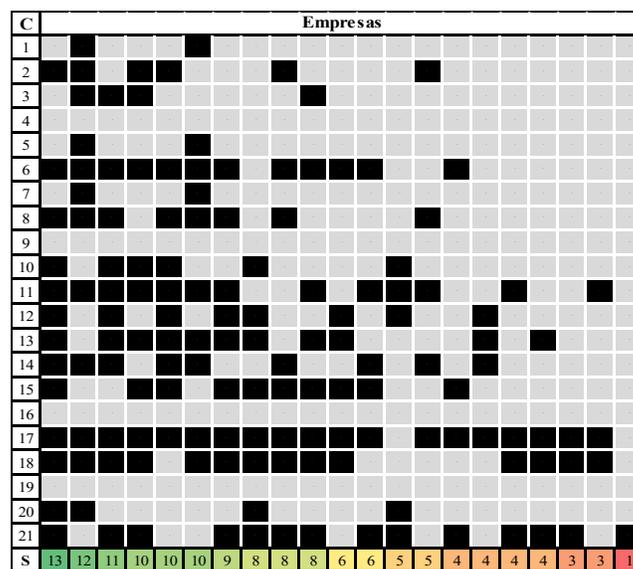


Figura 8 Estudo de Benchmarking realizado utilizando critérios ambientais base

i. *Interação entre as empresas dentro do PI*

A Figura 10 apresenta a interação entre as empresas dentro do PI. As interações indicam uma forma de relação, seja ela a prestações de serviços, compra, venda, projetos em comum, infraestruturas partilhadas ou qualquer tipo de colaboração. Cada círculo preenchido representa uma empresa e cada linha entre os círculos significa um tipo de interação entre as empresas que estão associadas. O círculo pontilhado delimita a amostra que foi estudada, dessa forma as empresas que estão fora do pontilhado fazem parte do PI e realizam interações, porém não fizeram parte do presente estudo (Figura 10). Os círculos maiores coloridos representam as empresas que mais realizam interações dentro do PI, contendo até nove interações com empresas distintas, enquanto foi verificado que quatro empresas não realizam nenhum tipo de interação. Constatou-se ainda que a interação mais usual entre empresas é a prestação de serviços, em que a empresa contrata um serviço de outra, seja ela para reparação, implantação, construção ou transporte de algum produto.

Para Baldassarre et al. [20], as interações empresariais tem como intuito promover o desenvolvimento sustentável, impulsionando a economia da região, usando resíduos como um recurso, reduzindo a pegada da empresa industrial no ambiente local, criando empregos e melhorando a qualidade de vida na área.

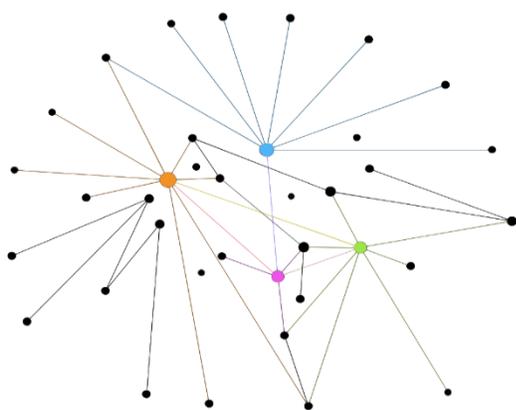


Figura 8 Relação das interações entre as empresas dentro do PI de Mirandela, Portugal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No tratamento dos dados dos indicadores de SGA e de reutilização de água, verificou-se as mais baixas percentagens em relação a implantação desses sistemas. Na análise para as empresas que possuíam fontes renováveis, verificou-se que poucas empresas continham algum tipo de produção local, incluindo painéis fotovoltaicos ou queima de biomassa. O indicador de percentagem de empresas com pré-tratamento demonstrou que o método mais usual era o sistema de tanques de decantação. Evidenciou-se quase todos empreendimentos realizavam recolha seletiva de resíduos sólidos em suas empresas e que todas recuperavam o resíduo orgânico. As empresas dispunham de mecanismo de monitorização ambiental, como medições de ruído, medições de emissões gasosas, realização de análises de água. Na análise do indicador de medições atmosféricas, foi possível apurar que nem todas as empresas realizam medições de emissões atmosféricas provenientes de seu processo industrial. Através do estudo de benchmarking, foi possível concluir que as empresas que mais obedeciam os critérios ambientais eram justamente as que estavam mais envolvidas no processo de gestão ambiental, corroborando o que foi visto no processo de auditorias ambientais. Os critérios mais seguidos foram os associados com resíduos sólidos e os menos seguidos pelas empresas foram os relacionados com o uso de infraestruturas comuns e a posse do registo EMAS. As empresas, em geral, demonstraram interação com as outras organizações dentro do PI, indicando que o PI está indo rumo a estratégias de simbiose industrial, no qual há benefícios tanto ambientalmente como economicamente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Cooperação Transfronteiriça Espanha - Portugal (POCTEP) que se desenvolve com o apoio da UE e com o financiamento comunitário pelo programa FEDER. Aos empresários que participaram das auditorias ambientais que ajudaram no desenvolvimento deste estudo.

REFERENCES

- Susur, E., Hidalgo, A., & Chiaroni, D. (2017). A strategic niche management perspective on transitions to eco-industrial park development: A systematic review of case studies. *Resources, Conservation & Recycling*, 140(May 2018), 338-359. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.002>
- Francis, C., & Erkman, S. (2001). Environmental Management for Industrial Estates. Information and Training Resources.
- Côté, R., & Hall, J. (1995). Industrial parks as ecosystems. *Journal of Cleaner Production*, 3(1-2), 41-46. [https://doi.org/10.1016/0959-6526\(95\)00041-C](https://doi.org/10.1016/0959-6526(95)00041-C)

- Geng, Y., & Zhao Hengxin. (2009). Industrial park management in the Chinese environment. *Journal of Cleaner Production*, 21(2), 04016023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.03.009>
- Liu, Z., Adams, M., Cote, R. P., Geng, Y., & Li, Y. (2018). Comparative study on the pathways of industrial parks towards sustainable development between China and Canada. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 417–425. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.012>
- Shi, H., Chertow, M., & Song, Y. (2010). Developing country experience with eco-industrial parks: a case study of the Tianjin Economic-Technological Development Area in China. *Journal of Cleaner Production*, 18(3), 191–199. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2009.10.002>
- Ahvenniemi, H., Huovila, A., Pinto-Seppä, I., & Airaksinen, M. (2017). What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities*, 60, 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.009>
- Xu, F., Xiang, N., Tian, J., & Chen, L. (2017). 3Es-based optimization simulation approach to support the development of an eco-industrial park with planning towards sustainability: A case study in Wuhu, China. *Journal of Cleaner Production*, 164, 476–484. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.192>
- Yu, C., De Jong, M., & Dijkema, G. P. J. (2014). Process analysis of eco-industrial park development - The case of Tianjin, China. *Journal of Cleaner Production*, 64, 464–477. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.002>
- Chertow, M. R. (2012). Industrial Symbiosis. *Encyclopedia of Energy*, 3, 407–415. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00455.x>
- Lowe, E. A., Moran, S. R., & Holmes, D. B. (1995). A Fieldbook for the Development of Eco-Industrial Parks, (October), 1–344. Retrieved from <http://infohouse.p2ric.org/ref/10/09932.pdf>
- Shi, H., Chertow, M., & Song, Y. (2010). Developing country experience with eco-industrial parks: a case study of the Tianjin Economic-Technological Development Area in China. *Journal of Cleaner Production*, 18(3), 191–199. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2009.10.002>
- Tian, J., Liu, W., Lai, B., Li, X., & Chen, L. (2014). Study of the performance of eco-industrial park development in China. *Journal of Cleaner Production*, 64, 486–494. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.005>
- Serpa, R. R. (2002). Risk management of environmental accidents, 5, 101–107.
- Camila, O. J. de O., & Pinheiro, R. M. S. (2010). Implantação de sistemas de gestão ambiental ISO 14001 : uma contribuição da área de gestão de pessoas, 17, 51–61.
- Santana, M. V. E., Cornejo, P. K., Rodríguez-roda, I., Buttiglieri, G., & Corominas, L. (2019). Holistic life cycle assessment of water reuse in a tourist-based community. *Journal of Cleaner Production*, 233, 743–752. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.290>
- Bórawski, P., Beldycka-Bórawska, A., Szymanska, E. J., Jankowski, K. J., Dubis, B., & Dunn, J. W. (2019). Development of renewable energy sources market and biofuels in The European Union Piotr B o Jadwiga Szyma n. *Journal of Cleaner Production*, 228, 467–484. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.242>
- Ferreira, J. de J., Laia, C., & Rebelo, M. (2014). Plano de dinamização e disseminação de boas práticas eficiência energética no setor empresarial. *Elaboração de Estudo de Benchmarking Sectorial*.
- Islam, K. M. N., & Jashimuddin, M. (2017). Reliability and economic analysis of moving towards wastes to energy recovery based waste less sustainable society in Bangladesh : The case of commercial capital city Chittagong. *Sustainable Cities and Society*, 29, 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.11.011>
- Baldassarre, B., Schepers, M., Bocken, N., Cuppen, E., Korevaar, G., & Calabretta, G. (2019). Industrial Symbiosis : towards a design process for eco-industrial clusters by integrating Circular Economy and Industrial Ecology perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 216, 446–460. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.091>

Avaliação de conforto térmico em Edifícios de Interpretação Ambiental em áreas protegidas no contexto transfronteiriço (Portugal – Espanha)

Rafael Costa, Artur Gonçalves, António Ribeiro, Manuel Feliciano, Leonardo Furst, Eliane Almeida, Maria

Pérez

Rafael de Quevedo Giraldo Costa
Instituto Politécnico de Bragança
Universidade FUMEC Belo
Horizonte, Brasil
rquevedogiraldi@gmail.com

Artur Gonçalves, António Castro
Ribeiro, Manuel Feliciano,
Leonardo Furst
*Centro de Investigação de
Montanha (CIMO), Instituto
Politécnico de Bragança,
Portugal.*
[ajg@ipb.pt*](mailto:ajg@ipb.pt)

Eliane Silva Ferreira Almeida,
Universidade FUMEC Belo
Horizonte, Brasil,
'eliane@fumec.br

Maria Puy Domínguez Pérez
Ente Regional de la Energía de
Castilla y León (EREN, León,
Espanha, DomPerMi@jcy.l.es

Resumo — O estudo do conforto térmico pode contribuir para uma melhor gestão e adequação de edifícios e suas envolventes, apesar da complexidade existente referente à subjetividade humana quanto ao clima, melhorando a habitabilidade desses espaços. Este artigo, desenvolvido no âmbito do projeto POCTEP BIOURB NATUR, inclui uma série de estudos exploratórios de análise de conforto térmico e de percepção de conforto em Casas de Interpretação Ambiental, no espaço transfronteiriço entre Portugal e Espanha, durante o período de inverno. Neste âmbito, pretendeu-se avaliar as condições de conforto térmico exterior e interior das casas analisadas, para além de avaliar a percepção de conforto dos utilizadores dos edifícios.

Palavras-chave—conforto térmico; ambiente interno; ambiente externo; edifícios; monitorização.

^s. INTRODUÇÃO

De acordo com ASHRAE (1992) [1], o conforto térmico é definido como "Um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa". Tal característica humana é também definida tendo em vista a condição de homeotermia, isto é, a capacidade do ser humano se manter a temperatura constante, aproximadamente 37° C, através das trocas de calor existentes entre o corpo humano e o ambiente que o rodeia [2].

Sabe-se que é necessário estar em neutralidade térmica para se atingir o conforto térmico, porém, nem sempre a condição de neutralidade causará conforto em todas as pessoas. Este paradoxo provém da noção de conforto térmico, subjetiva e complexa, pois o bem-estar associado depende de fatores não plenamente quantificáveis, psicológicos e fisiológicos, que variam de pessoa para

uma pessoa, e de fatores micro-climáticos quantificáveis, como a humidade, a velocidade do ar, a temperatura e a radiação solar incidente [3]. Desta forma, percebe-se a dificuldade de chegar a um conceito de conforto térmico, onde haja satisfação simultânea para um amplo conjunto de pessoas.

O grau de conforto térmico interno nas edificações está relacionado com condições ambientais externas, como o regime de chuvas, vegetação, permeabilidade do solo, humidade, topografia, velocidade do vento, entre outras características pontuais que podem sofrer alterações pela presença humana, assim como as variáveis climáticas regionais [4].

As variáveis humanas possuem relação com a atividade física (metabolismo do indivíduo). A sensação de desconforto térmico se dá quando o organismo não consegue dissipar o calor produzido pelo seu metabolismo, causando a sensação de calor ou frio. Assim, a atividade exercida pelo indivíduo possui uma relação estrita com o conforto térmico, já que esta pode alterar o sistema termorregulador, pois quanto maior for o trabalho do organismo para manter a temperatura interna, maior o desconforto [5].

A vestimenta é outra variável humana, pois funciona como um isolante térmico que dificulta as trocas de calor por convecção e radiação, agindo, então, como uma resistência entre o corpo e o meio que o circunda [6].

A sensação de conforto térmico também sofre variação de acordo com a sazonalidade, onde o fluxo energético pode variar de uma situação de ganhos térmicos – verão, no caso deste estudo em regiões de clima quente e seco – e perdas térmicas – inverno, neste caso regiões de clima temperado ou frio.

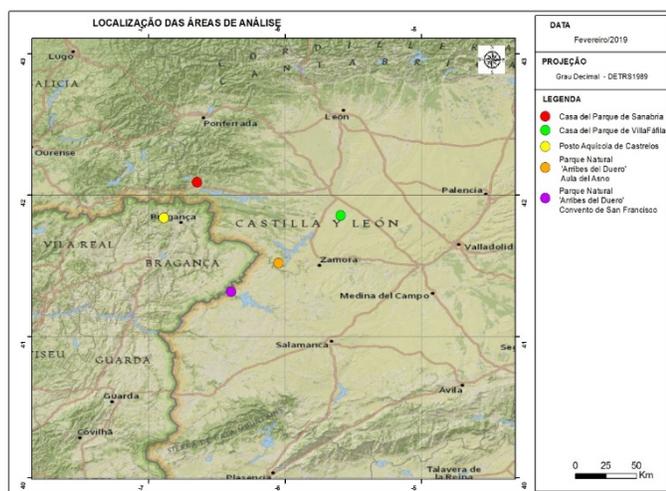
A temperatura do ar exterior influenciará o conforto térmico dos edifícios através das trocas de calor. No inverno é importante a presença da radiação solar para o aumento natural da temperatura interior dos edifícios, porém, no verão, esta mesma fonte de calor é, geralmente, prejudicial ao conforto térmico, pois já ocorre um aumento natural da temperatura nesta época do ano, fazendo com que esta radiação se torne excessiva e cause desconforto aos ocupantes dos edifícios [3].

Este artigo apresenta os primeiros resultados do estudo de conforto térmico no âmbito do Projeto Transfronteiriço INTERREG POCTEP – BIOURB NATUR, pelo qual se pretende avaliar a prevalência de condições de conforto em diversos edifícios em zonas transfronteiriças entre Portugal e Espanha, nos quais se realizaram ou iriam realizar intervenções com base nos princípios da arquitetura bioclimática.

t. METODOLOGIA

a. Localização e Contexto Climático

Para a realização deste trabalho, edifícios localizados nas imediações da fronteira entre Portugal e Espanha foram selecionados a fim de elaborar análises microclimáticas de conforto térmico em diferentes estações do ano (Fig.1). Estes locais incluem um local de estudo em Portugal, o Posto Aquícola Castrelos (PA), e quatro em Espanha, Aula del Asno, Arribes del Duero' em Sobradillo (SO), Casa del Parque de Villafáfila (VF), Casa del Parque del Lago de Sanabria y Alrededores (SB); e Casa del Parque de 'Arribes del Duero' Formoselle (FO).



Locais de estudo. Fonte: ArcGis (2019)

Para a caracterização do clima regional, utilizou-se o sistema de classificação climática de Köppen-Geiger

(1936), classificação esta atualizada e publicada, em sua última versão, por Peel et al. (2007) [7], para a Península Ibérica e Ilhas Baleares.

Assim, as áreas de estudo foram identificadas como Clima Csb, onde “Cs” é referente ao regime de precipitação da área de análise, em locais com verão mais seco, ou seja, o período onde há menor intensidade de chuvas coincide com os períodos de maior temperatura. A terceira letra “b” na classificação proposta por Köppen corresponde à evolução das temperaturas, correspondendo ao Clima Temperado, que abrange características como: taxa de precipitação maior que a de evaporação e temperatura média entre 0° C e 18° C no período mais frio, assim como temperatura média superior a 10° C no período mais quente e inferior a 22° C [8].

b. Materiais

Visando estudar o Microclima foram utilizados os instrumentos Delta OHM Thermal Microclimate HD 32.1 e HD 32.3, ambos compostos de sensores para a monitorização da temperatura, humidade e velocidade do vento em ambientes internos. Da mesma forma, utilizou-se da Estação Meteorológica Automática Campbell Scientific na medição de variáveis para o ambiente externo.

c. Monitorização de ambiente térmico interior e exterior

No Quadro 1 apresentou-se os equipamentos que foram utilizados, assim como as datas de medição para cada caso de estudo, num total de cinco locais:

QUADRO I – INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE AS MEDIÇÕES

Local	HD 32.1	HD 32.3	Estação Meteorológica	Datas	
				Interno	Externo
Posto Aquícola Castrelos – PA	x		x	19/10/18 a 5/11/18	19/10/18 a 5/11/18
P.N.Arribes del Duero' Sobradillo – SO	x		x	9/11/18 a 5/12/18	9/11/18 a 5/12/18
Casa del Parque de Villafáfila – VF		x	x	14/12/18 a 16/12/18	5/12/18 a 16/12/18
Casa del Parque de Sanabria – SB		x	x	16/12/18 a 23/12/18	16/12/18 a 23/12/18
P.N. 'Arribes del Duero' Formoselle - FO		x	x	25/01/19 a 01/02/19	25/01/19 a 01/02/19

RESULTADOS

a. Posto Aquícola de Castrelos

Os estudos decorram de modo itinerante com uma duração equivalente ou superior a uma semana, com a exceção de um dos locais. A estação meteorológica foi colocada no exterior, perto das casas objeto de estudo, num local representativo do contexto exterior. No estudo do conforto térmico interior, as estações portáteis foram instaladas de acordo com as especificações da norma ISO 10551 [9]. Nos locais visitáveis decorreram ainda inquéritos à percepção de conforto dos visitantes, sendo esse o caso dos locais VF, PS e FO.

Os dados foram registados em médias de dez minutos, tomados em simultâneo para permitir a comparação entre o contexto interior e exterior. Nos locais em que foram aplicados inquéritos, os mesmos decorreram nos dias visitáveis, na proximidade das estações de conforto térmico.

O Diagrama de Olgyay [10] foi utilizado a fim de equacionar de forma gráfica as condições de satisfação térmica no exterior, levando em consideração as variáveis climáticas do ambiente externo. Este Diagrama identifica uma faixa de temperatura ideal para a obtenção do conforto térmico com roupa ligeira, entre os limites de 27,8°C e 19,5°C, e o intervalo para a humidade relativa de 30% a 65%, para regiões de clima temperado.

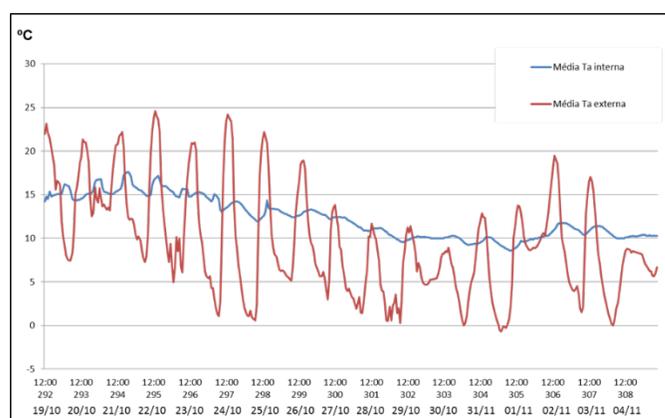
Para o Conforto Térmico Interior aplicou-se a Carta Bioclimática de Givoni por ser a mais adequada à interpretação do espaço interior. Para estes espaços foram utilizadas duas metodologias:

- Edifícios em funcionamento: utilizaram-se dados de temperatura e humidade de horários específicos de interesse, tais como: horário de abertura do edifício (10:00), retorno do horário de funcionamento após o almoço (16:00) e horário de fechamento (20:00);
- Edifícios que não estavam abertos ao público: cruzaram-se valores de temperaturas mínimas e máximas com as humidades registradas para estes valores e identificadas as propostas de intervenção no local, pois não havia a necessidade de fazer as medições em um horário específico, devido à ausência de visitantes.

Para os edifícios que já estavam abertos ao público aplicou-se um questionário de percepção de conforto térmico com funcionários no local e visitantes quando se encontravam próximos do equipamento. Estes inquéritos foram aplicados quando o visitantes estava à mais de 5 minutos local, a fim de assegurar um período mínimo de adaptação às condições existentes.

Percebeu-se ao reconhecer o local que este não possui climatização interna, porém, por se tratar de um ambiente fechado, sofre menores variações de temperatura, onde se percebe, também, a significativa diferença em relação à variação sofrida no ambiente externo, em que os valores mínimos e máximos de Temperatura (T_a) obtidos pela Estação Meteorológica variaram entre 25°C e -0,66°C (Fig.2).

O ambiente interno, por seu turno, apresenta uma diminuição pouco acentuada e constante ao longo do período de medição. Neste contexto existe o potencial para oferecer uma sensação térmica ligeiramente fria, variando nos dias de análise entre os 17,4°C e os 8,5°C (Fig.2).

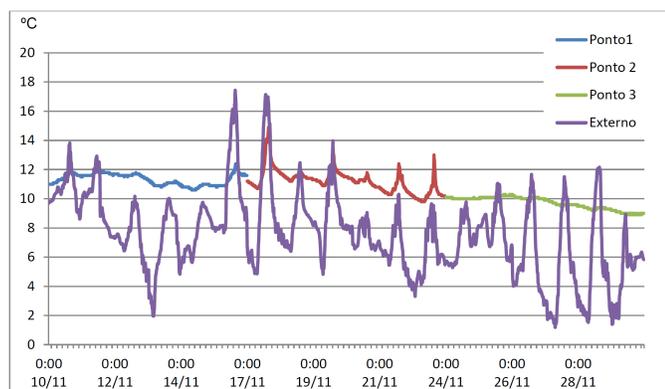


Comparação de temperaturas entre interior e o exterior para Posto Aquícola de Castrelos

A respeito da humidade, houve uma variação menor no ambiente interno, registrando uma mínima de, aproximadamente, 50%, pois lugares fechados tendem a manter a humidade pela falta de captação do ar externo, assim, há certa regulação da humidade no interior do edifício, contribuindo para baixa variação [11].

b. Casa do Parque Natural 'Arribes del Duero' Aula del Asno

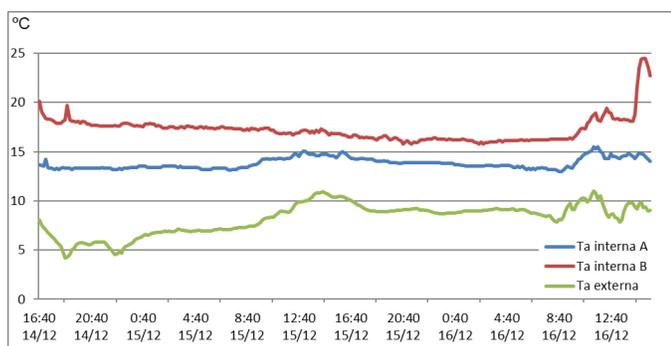
O equipamento quando situado no interior do edifício (local 1), assim como em uma sala mais fechada (local 3), registrou, maioritariamente, uma descida da temperatura ao longo do tempo de medição. Isto se deve a inércia do edifício relativamente ao frio que se fazia sentir no exterior, ou seja, quando a temperatura exterior decresceu em termos médios, o ambiente interno demorou mais tempo a arrefecer, mantendo a constância de temperatura no interior (Fig.3). No local 2, onde existem janelas para a entrada da luz solar, ocorreu um aumento em ciclos diários da temperatura, principalmente no período da tarde, entre as 14:00 e as 17:00, devido a grande incidência de radiação que consegue adentrar neste ambiente.



Comparação de temperaturas entre interior e o exterior para Casa do Parque Natural 'Arribes del Duero' Aula del Asno

c. Casa del Parque de Villafáfila

Com a disposição dos sensores (equipamento A – parte inferior e equipamento B – parte superior) foi possível comparar as diferenças de temperatura entre os dois locais no interior do edifício, assim como, compará-los com o ambiente externo.



Comparação de temperaturas entre interior e o exterior para Casa del Parque de Villafáfila

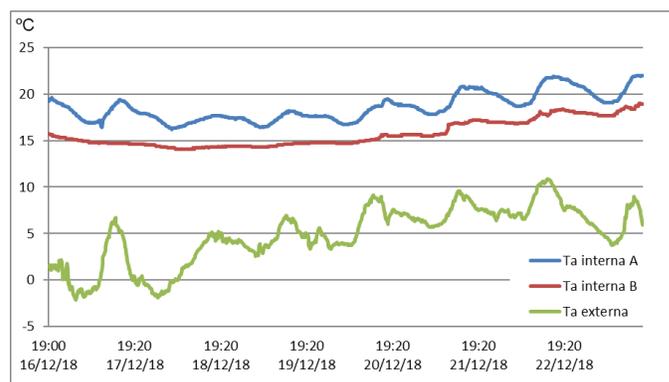
As temperaturas permaneceram praticamente constantes durante a maior parte do tempo de medição. Isso acontece pela influência do desempenho térmico do edifício, porém, há uma diferença significativa de temperatura entre os dois locais (Fig.4).

O local onde foi posicionado o equipamento A, registrou temperaturas mais amenas em comparação com a parte superior. Tal acontecimento deveu-se à constante abertura da porta de entrada próximo ao equipamento, favorecendo a entrada de correntes de ar mais frias advindas do exterior, causando a sensação de arrefecimento no ambiente interno inferior. As temperaturas mais elevadas registradas na parte superior (local B) foram causadas pela presença de janelas, que permaneceram fechadas, evitando entrada de correntes de ar, mas favorecendo a incidência de raios solares no ambiente, aquecendo-o. Acresce ainda que a altura entre o chão e o teto no ponto A é maior que no ponto B (7-8

metros), assim, há maior facilidade de perda natural de calor da parte inferior para a superior por convecção, gerada pela não-homogeneidade da densidade por diferenças de temperatura [12]. As temperaturas baixas no ambiente externo justificam as altas humidades, pois é formado vapor d'água pelo resfriamento no ambiente, até atingir o ponto de orvalho.

d. Casa del Parque de Sanabria

Os resultados constatados no local A, foram de temperaturas superiores aos registrados no local B, pois a monitorização no local B decorreu numa sala na parte mais central do edifício, sem interferência de agentes externos como o vento e a radiação solar. Acresce que esta sala possuía climatização artificial com temperaturas inferiores em relação ao local A, a fim de arrefecer o ambiente propositalmente, pois esta sala possui uma temática relativa às glaciações, assim, temperaturas mais amenas registadas no local fariam com que o visitante interagisse melhor com os assuntos didáticos tratados na sala.



Comparação de temperaturas entre interior e o exterior para Casa del Parque de Sanabria

No local A registaram-se temperaturas mais elevadas e maiores variações durante os dias de análise, pois o equipamento foi posicionado em frente a uma grande abertura envidraçada, permitindo a entrada de raios solares que favorecem o aquecimento (Fig.5).

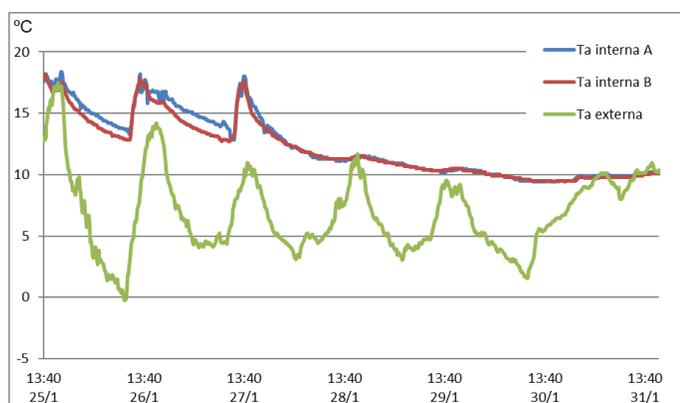
A monitorização na Casa do Parque de Sanabria decorreu durante o mês de dezembro, um dos meses mais húmidos e frios do ano. Nesta época do ano é mais difícil alcançar o conforto térmico desejado nos espaços exteriores, pois a radiação recebida na superfície é menor, existindo ainda mais humidade neste mês, como pode ser observado pelos valores de humidade externa. Neste contexto é necessário um maior isolamento térmico individual por vestuário [13].

A humidade relativa no ambiente interno, para os dois locais interiores estudados, abrange as percentagens satisfatórias para a sensação de conforto, de acordo com Lamberts et al. (2016) [5], em um limite de 20% a 80%.

e. *Parque Natural 'Arribes del Duero'*
Convento de San Francisco

Ao longo dos três dias que o local se encontrava aberto houve descidas e subidas de temperatura. Estas mudanças devem ao funcionamento do sistema de aquecimento artificial presente no interior do edifício.

O começo do acréscimo de temperatura foi registrado às 10h (horário de ativação do sistema de aquecimento) (Fig.6). Às 14h nota-se decaimento de temperatura, pois este sistema era desligado para o intervalo do almoço. Às 16h o edifício abria novamente, registrando-se, então, o aumento gradual de temperatura, pois o sistema de aquecimento era novamente ligado. Outra queda pode ser notada a partir das 18h, horário onde este sistema era de novo desligado para o encerramento das atividades no local.



Comparação de temperaturas entre interior e o exterior para a cada do Parque Natural 'Arribes del Duero' Convento de San Francisco

O comportamento da humidade registrado foi o esperado para o ambiente externo, assim como também constatado nos outros locais de análise, com grandes variações ao longo dos dias, sendo as menores humidades registradas, maioritariamente, pela manhã. Comprova-se a relação temperatura x humidade existente, quando os valores de temperatura aumentam com a calefação, a humidade é reduzida, permitindo certo nível de conforto tratando-se desta variável.

f. *Correlações de pearson*

Com o objetivo de identificar a relação das variáveis de temperaturas e humidades internas e externas, desenvolveu-se a análise de correlação de Pearson, através da ferramenta IBM SPSS para cada local de estudo.

QUADRO III – CORRELAÇÕES DE PEARSON

Locais	Pontos	Temperatura	Humidade
PA	Interior vs exterior	Moderada	Fraca
SB	Local 1 vs exterior	Moderada	Fraca
	Local 2 vs exterior	Forte	Fraca
	Local 3 vs exterior	Muito fraca	Fraca
VF	Ponto A vs Ponto B	Fraca	Forte

PS	Ponto A vs externo	Forte	Moderada
	Ponto B vs externo	Fraca	Moderada
	Ponto A vs Ponto B	Forte	Moderada
	Ponto A vs externo	Moderada	Fraca
FO	Ponto B vs externo	Moderada	Negativa
	Ponto A vs Ponto B	Muito forte	Muito forte
	Ponto A vs externo	Fraca	Moderada
	Ponto B vs externo	Fraca	Moderada

g. *Aplicação da Carta de Givoni*

A fim de sintetizar as estratégias de projeto que podem ser adotadas pelos edifícios deste estudo visando o aquecimento do local, foi estruturado o Quadro 5, após a verificação dos resultados obtidos pela Carta de Givoni para o ambiente interior.

QUADRO IV – RESUMO DE ESTRATÉGIAS PARA AQUECIMENTO NO AMBIENTE INTERNO

Locais	Designações	Estratégia de projeto
PA	Local 1	Calor ativo e passivo
SO	Local 1	Calor ativo
	Local 2	Calor ativo e passivo
	Local 3	Calor ativo
VF	Local A	Calor passivo
	Local B	Calor passivo
SB	Local A	Calor passivo
	Local B	Calor passivo
FO	Local A	Calor passivo
	Local B	Calor passivo

Para as estratégias descritas é necessário optar por uma das seguintes opções:

- Calor ativo e passivo: Adoção de janelas e paredes transparentes, como os solários; Varandas com alpendres envidraçados; Paredes de acumulação; Aquecimento artificial; Vidros duplos; Isolamento das paredes e coberturas;
- Calor ativo: Aquecimento artificial; Vidros duplos; Isolamento das paredes e coberturas;
- Calor passivo: Adoção de janelas e paredes transparentes, como os solários; Varandas com alpendres envidraçados; Paredes de acumulação.

No que diz respeito ao conforto térmico interior, os únicos locais que apresentaram algum nível de conforto térmico foram a Casa del Parque de Sanabria (ponto A), e a Casa del Parque de Villafáfila, na parte superior e no período da tarde. Percebe-se, notoriamente, a relação entre

CONCLUSÕES

estes dois locais e o conforto térmico atingido, pois os equipamentos foram posicionados próximos às janelas onde era permitida a entrada de raios solares. Estes resultados são coerentes com o registro de valores na faixa de conforto para os parâmetros de referência. Nos restantes locais e na maior parte das circunstâncias, os resultados demonstram a dificuldade existente de se atingirem condições de conforto nesta época do ano no ambiente interno, mais evidente nos locais sem sistemas de climatização.

h. Aplicação da Carta de Olgyay

Para o ambiente externo, relataram-se interpretações semelhantes em todos os locais estudados, pela época do ano (outono-inverno). Em particular, os resultados mostram que, genericamente, não se alcançassem condições de conforto térmico exterior, sendo ainda notória a grande amplitude térmica, em que apenas pontualmente se registaram condições de conforto com níveis médios de vestuário.

i. Estudo de conforto térmico

Para os inquéritos aos 142 utilizadores dos Centros de Interpretação ambiental estudados utilizou-se a escala de sete pontos proposta por Fanger (1972) [14] – entre muito quente (+3) e muito frio (-3) – para as análises de sensação de conforto térmico em resposta à pergunta “Como se sente em relação ao conforto, neste momento?”, avaliando a sua relação com as variáveis medidas em simultâneo com o inquérito: temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do ar e temperatura média radiante.

A análise dos dados estatísticos é consistente com a relação identificada entre a percepção de conforto e as variáveis monitorizadas, pois mostra a importância das temperaturas (do ar e radiante) na percepção de conforto. Neste caso, nos locais em que se registaram temperaturas mais altas, foi onde a percepção de conforto foi consistentemente mais elevada, como pode ser comprovada pelo teste de Kruskal- Wallis ($p < 0,05$), onde a escala de conforto se deu maior na Casa del Parque de Sanabria, seguidas pelas casas de Villafáfila e Formoselle.

Ainda que os resultados não sejam completamente conclusivos, pode-se avançar a uma explicação para as diferenças na percepção de conforto entre os diferentes locais. Sendo a temperatura um fator que influenciou na percepção de conforto, constata-se que se registrava uma temperatura média mais elevada nos resultados de SB, os quais coincidem com uma percepção mais positiva do conforto nestes locais. A mesma interpretação não pode ser aplicada às diferenças entre os dois outros locais de amostragem, pois a diferença entre suas médias é muito pequena.

A importância de buscar a satisfação das necessidades dos ocupantes dos edifícios, assim como, alcançar edifícios com melhor desempenho energético, é de grande importância. Isto pode ser feito através de projetos para incremento térmico com o uso da radiação no inverno e de se utilizarem estratégias que permitam a ventilação natural no verão. Os estudos do conforto térmico também devem permitir estabelecer padrões para edifícios com finalidades e regiões diferentes, assim como avaliar diferenças motivadas pelo tipo de vestuário dos visitantes/ocupantes.

Este estudo procurou avaliar as diferenças térmicas entre o ambiente interno e externo, contrastando em alguns locais com a percepção de conforto dos visitantes em Casas de Interpretação Ambiental na fronteira entre Portugal e Espanha, situadas num contexto climático semelhante.

A comparação entre os dados de temperatura e humidade para o interior e exterior dos edifícios, permitiu, como expectável, identificar padrões de comportamento semelhantes na maior parte dos locais interiores de monitorização. No que diz respeito à relação entre os dados do interior e exterior dos edifícios, verificou-se uma influência variável das condições exteriores. Neste particular, edifícios climatizados no período semanal, como é o caso da Casa del Parque de Sanabria, registram um perfil de temperatura e humidade com uma fraca relação com o contexto exterior, como resultado da ação combinada do desempenho térmico dos edifícios e dos sistemas de climatização. No extremo oposto, as casas que se encontram desocupadas e não possuem sistemas de climatização, apresentaram genericamente um perfil térmico com uma maior influência das condições exteriores.

Procurando melhorar as condições existentes, medidas como a introdução de árvores com folhas caducas e estruturas de sombreamento móvel são soluções que, sendo aplicadas no exterior, podem ser relevantes para o conforto térmico do edifício, tanto no verão quanto no inverno. Complementarmente, a adaptação dos edifícios incorporando estratégias de aquecimento ativo e passivo devem ser implementadas para ampliar as estratégias de obtenção de conforto térmico. Porém, também é de extrema relevância considerar a importância da aceitabilidade térmica dos utilizadores, como forma de obviar consumos excessivos de energia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Cooperação Transfronteiriça Espanha - Portugal (POCTEP) que se

desenvolve com o apoio da UE e com o financiamento comunitário pelo programa FEDER. Os autores agradecem aos voluntários que responderam ao Inquérito e aos colaboradores nos edifícios que ajudaram no desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

- ASHRAE. (1992). **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta. J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- SILVA, A. et al. (2015). **Conceito de conforto térmico humano**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. K. Elissa, “Title of paper if known,” unpublished.
- SAVEGNANI, K.B.; GHELFI FILHO, H.; SILVA, I.J.O. (1994). **Comparação de vários materiais de cobertura através de índices de conforto térmico**. Scientia Agrícola, Piracicaba, v.51, n.1, p.1-7.
- FROTA, A. B., SCHIFFER, S.R. (2001). **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel.
- LAMBERTS, R. et al. **Desempenho térmico de edificações**. 2016. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV516_1_v2016.pdf. Acesso em: 10 mai 2018.
- RUAS, Á. (2001). **Avaliação de conforto térmico contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. Tese de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas..
- PEEL, M. C., B.I., FINLAYSON, T.A. McMahon. 2007. **Update world map of the Koppen-Geiger climate classification**. Hydrology and Earth System Sciences, 11,1633-1644,2007.
- AEMET, I. M. Atlas Climático Ibérico. **Temperatura do ar e Precipitação (1971-2000)**. Agência Estatal de Meteorologia, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino e Instituto de Meteorologia de Portugal (eds). ISBN, p. 978-84, 2011.
- ISO 10551, 2005, Ergonomics of the thermal environment—Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. Geneva: International Standards Organization.
- OLGYAY, V. (1963). **Design with Climate**.. Princeton University Press, Nova Jersey.
- GIODA, A.; NETO, F. R. A. Poluição química relacionada ao ar de interiores no Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 359-365, 2003(b).
- SILVA, P. C. P. (2006) **Análise do comportamento térmico de construções não convencionais através de simulação em VisualDOE**.. Tese de Doutorado.
- HERNÁNDEZ, A. (coord.). **Manual de diseño bioclimático urbano**. Bragança [Portugal]: Instituto Politécnico de Bragança, 2013. ISBN: 978-972-745-157-9.
- FANGER, P.O. (1972). **Thermal Comfort: Analysis and applications in environmental engineering**. McGraw-Hill, New York, USA.

El BIG FIVE como antecedente de la intención emprendedora de los académicos

Francisco Gómez, Francisco González, Jesús Mayo

Francisco I. Vega Gómez
Dpto. de Ciencias Económicas y
Empresariales
Universidad de Extremadura
Badajoz (España)
fvegagomez@unex.es

Francisco J. Miranda González
Dpto. de Ciencias Económicas y
Empresariales
Universidad de Extremadura
Badajoz (España)
fmiranda@unex.es

Jesús Pérez Mayo
Dpto. de Ciencias Económicas y
Empresariales
Universidad de Extremadura
Badajoz (España)
jperez@unex.es

Abstract— El fomento del emprendimiento académico a través de la creación de USO (University Spin-Off) como sistema de transferencia se ha visto potenciado durante las dos últimas décadas (Vega-Gomez et al., 2018). Esta apuesta de universidades y Administraciones Públicas se ha fundamentado principalmente en el aprovechamiento de las fuertes inversiones de dinero público destinadas a las universidades y en la capacidad de estas para crear empleo y crecimiento económico (Etzkowitz & Klofsten, 2005; Bienkowska & Klofsten, 2012; Vac & Fitiu, 2017; Fini et al., 2018). Esta postura de apoyo hacia las USO se ha llevado a cabo desde diversos frentes y con diversas líneas de ayuda, siendo la formación para la adquisición de competencias emprendedoras una de las más utilizadas por todas las administraciones (Lackéus & Williams Middleton, 2015; Nabi et al., 2017). Estas competencias emprendedoras son determinantes de la intención.

Por esta razón, en el presente estudio se plantea la utilización del paradigma conocido como Big Five Gorgievski & Stephan, 2016), el cual propone como habilidades las reconocidas por el acrónimo OCEAN (openness, conscientiousness, extraversion, agreeableness, and neuroticism) para reconocer si las mismas son determinantes de habilidades emprendedoras y de intención emprendedora, todo ello mediante la aplicación de la Theory Planned Behaviour (TPB).

Los resultados muestran que las habilidades emprendedoras son las determinantes de la actitud y del control percibido, y que esta actitud a su vez, es la que determina finalmente la intención de emprender.

Keywords— BIG FIVE; Determinantes Psicológicos; Emprendimiento Académico; Habilidades Emprendedoras; TPB.

Características de três bacias hidrográficas de montanha ao longo de um gradiente climático: inferências quanto a riscos hidrológicos

Vinicius Okada, Tomas Figueiredo, Felícia Fonseca, Maurício dos Santos

Vinicius Kenzo Okada
Escola Superior Agrária
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
vkokada@gmail.com

Tomas de Figueiredo
Centro de investigação de Montanha
(CIMO)
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
tomasfig@ipb.pt

Felícia Maria da Silva Fonseca
Centro de Insvestigação de Montanha
(CIMO)
Instituto Politécnico de Bragança
line 4: Bragança, Portugal
line 5: ffonseca@ipb.pt

Maurício Moreira dos Santos
Departamento Acadêmico de
Engenharia Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Londrina, Brasil
mmsantos@utfpr.edu.br

Resumo — A evidência à escala global de alterações climáticas poderá traduzir-se em impactos tanto nas atividades humanas como os serviços de ecossistemas. Em Portugal, as zonas de montanhas são consideradas territórios importantes na prestação desses serviços, sendo um destes principais a regulação do ciclo e controle da qualidade da água. É pois importante analisar fatores que contribuem para o risco hidrológico desses territórios, como sejam o clima, uso e ocupação dos solos, relevo, litologia e pedologia. Neste trabalho utilizaram-se técnicas de geoprocessamento em software de Sistemas de Informação Geográfica com o objetivo de relacionar variáveis caracterizadoras da superfície terrestre com dados de precipitações médias anuais e caudais médios anuais de 3 bacias hidrográficas de montanha de dimensão similar (407-530 km²) do nordeste de Portugal: rio Tuela, rio Sabor, rio Maçãs. Por meio das análises efetuadas pode-se concluir que, em termos comparativos e considerando as variáveis estudadas e o gradiente climático presente na região, a relação destas pode determinar a magnitude dos riscos hidrológicos, concluindo que as bacias do rio Tuela e Sabor podem intensificar a ocorrência de cheias hidrológicas, enquanto na bacia do rio Maçãs as secas hidrológicas são mais frequentes.

Palavras-chave — Zonas de montanha, Sistema de informação geográfica, cheias hidrológicas, secas hidrológicas, NE Portugal.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente em todo o planeta Terra vão sendo percebidos impactos causados pelas alterações climáticas, atingindo tanto o meio humano quanto o natural, sofrendo o último de forma intensificada e abrangente [1]. Segundo [2], na região do Mediterrâneo é mais evidente essa tendência de mudança climática quanto às variáveis temperatura e precipitação. Ainda, segundo o autor, as regiões mediterrânicas mostram tendência, nesse contexto, para a diminuição da capacidade hídrica e o aumento da assolação do solo.

As zonas de montanha portuguesas e as zonas de montanhas mediterrânicas em geral são reconhecidas pela comunidade científica como territórios que prestam importantes serviços de ecossistemas, produtivos e de conservação (alimentos, pastos, lenha, água, plantas medicinais), atuando também como regulador da qualidade da

água e do ar [3]. Em todos os casos, o solo e a água são recursos fundamentais a considerar na avaliação desses serviços, especialmente tendo em vista a mitigação dos impactos que o contexto de mudança climática gera naqueles recursos [4].

Este estudo propôs-se a analisar os riscos hidrológicos de três bacias hidrográficas de montanha do nordeste português localizadas ao longo de um gradiente climático. Foram estudadas e correlacionadas variáveis descritoras das bacias com a sua resposta hidrológica afim de caracterizar tendências para eventos extremos determinantes de risco hidrológico, designadamente cheias e secas.

II. METODOLOGIA

O estudo localizou-se no nordeste português, numa zona de montanha fronteiriça com Espanha (Fig. 1). Foram selecionadas três estações hidrométricas, Gimonde (03Q/01), Ponte Pinelo (04R/01) e Vinhais-Quinta Ranca (03P/01), correspondendo a secções definidoras da parte superior das bacias hidrográficas dos rios Sabor, Maçãs e Tuela, respectivamente. As bacias localizam-se ao longo de um gradiente climático, verificado pela comparação da precipitação média anual nas três bacias; por outro lado, efetuou-se a comparação de dados hidrométricos das três estações, conforme descrito abaixo.

Os dados de precipitação foram obtidos junto do [5] e [6], Espanha, na aba Atlas agroclimático. Tomaram-se os trintênios mais recentes disponíveis: de 1971 a 2000 e de 1981 a 2010, para Portugal e Espanha, respectivamente. Em ambos os casos, a informação está livremente disponível em formato shapefile, em layer de pontos, com os valores médios anuais de precipitação do respetivo trintênio para cada ponto. Utilizando software de Sistema de informação geográfica (SIG), essas layers foram recortadas pelos limites de cada bacia e os valores por ponto exportados para folhas de cálculo, de modo a obter as respetivas médias de precipitação anual.

Os dados hidrométricos das três estações estão disponíveis no sítio do [7], do qual se extrairam as séries de caudal médio diário para folhas de cálculo. Determinaram-se as médias das séries para os anos de 1981 a 2000, período coincidente de dados pluviométricos dos dois países ibéricos. Este

procedimento foi adotado com o objetivo de relacionar, de modo consistente, os valores de escoamento com os de precipitação nas três bacias. Para isso, foi ainda necessário converter os valores médios anuais do caudal médio diário (m^3/s) em altura equivalente (mm), o que implicou considerar as áreas das bacias. O coeficiente de escoamento determinou-se pela divisão do escoamento médio anual pela precipitação média anual.

A caracterização das bacias hidrográficas foi realizada a nível cartográfico com técnicas de geoprocessamento em software de SIG e recorreu-se também a planilhas de cálculo no software Excel para tratamento da informação exportada do SIG. Em concreto, estabeleceram-se as cartas com os limites das bacias, o seu relevo e hidrografia, o uso e ocupação do solo, a litologia e os solos.

Para isso, utilizou-se o modelo digital de terreno (DEM) do projeto ALOS World 3D (AW3D), que possuem imagens com resolução de 30 metros sendo selecionados os quadrantes N41W007, N41W008, N42W007 e N42W008, que se enquadram na área de estudo, disponibilizadas pela [8]. Com base no DEM, utilizaram-se técnicas de geoprocessamento no software de SIG, explorando ferramentas específicas, indicadas na Tabela I.

TABELA I. ELEMENTOS CARTOGRÁFICOS E RESPECTIVAS FERRAMENTAS EXPLORADAS NO SOFTWARE ARCOIS.

Elementos	Índice	Ferramentas
Limites das Bacias Hidrográficas	Hydrology	Fill, Flow Accumulation, Flow Direction, Snap Pour Point, Watershed Stream to Feature
Malha Hidrográfica	Hydrology	Stream to Feature

Fig. 1. REGIÃO TRÁS OS MONTES ALTO DOURO, LOCAL DE ESTUDO.



Decribe	Surface, Zonal	Slope, Histogram
Perfil Longitudinal	3D analyst, Zonal	Profile Graph, Zonal Statistics as Table
Orden dos rios	Hydrology	Stream Order
Área e Perímetro	Zonal, Excel	Zonal Geometry as Table, Table to Excel

Com os limites das bacias hidrográficas definidos foram identificados, também através do software de SIG, quais as predominâncias do uso e ocupação do solo, litologia e tipos de solo de cada uma. Sendo que os arquivos shapefiles foram disponibilizados para download pelo [9] para o território português, e devido aos limites transcendarem o território do país, os shapefiles de uso e ocupação do solo, litologia e tipos de solo de Espanha foram obtidos, respectivamente, no [10], no [11] e no [12]. Foi necessário realizar uma compatibilização das legendas utilizadas nos dois países em cada carta. Para isso, tomou-se como referência a legenda portuguesa, designadamente: (i) no uso e ocupação do solo consideraram-se as classes do nível 3 da [13]; (ii) na litologia considerou-se a classificação de [14]; (iii) nos solos considerou-se a nomenclatura das unidades cartográficas e pedológicas adotada em [14], a qual utiliza a legenda [15].

Para a caracterização física, extraíram-se do software de SIG informações como área (A), perímetro (P), altitude (Z), altura (H) e o comprimento das linhas da água (L) de cada bacia, elementos que possibilitaram o cálculo dos parâmetros indicados na Tabela II.

Com a obtenção de todos os resultados é possível explorar a relação das características das bacias e do gradiente climático com a sua resposta hidrológica, o que é abordado no tópico de resultados e discussão.

TABELA II. PARÂMETROS CARACTERIZADORES DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS E RESPECTIVAS EQUAÇÕES DE CÁLCULO [16]

Parâmetro	Equação
Coefficiente de compactação (K_c)	$K_c = \frac{P}{2\pi r}$
Fator Forma (K_f)	$K_f = \frac{A}{L^2}$
Densidade de drenagem (λ)	$\lambda = \frac{L}{A}$
Altitude média (\bar{Z})	$\bar{Z} = \frac{\sum Z_i A_i}{A}$
Altura média (\bar{H})	$\bar{H} = \frac{\sum H_i A_i}{A}$

Sendo "r" igual ao raio de circunferência e L, igual ao comprimento da bacia.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do exercício de caracterização efetuado para as três bacias hidrográficas mostram-se na Tabela III. As Figuras 3 a 6 comparam as três bacias quanto à distribuição percentual das classes de ocupação do solo, das unidades pedológicas dominantes, das unidades secundárias de solos e das classes litológicas, respetivamente.

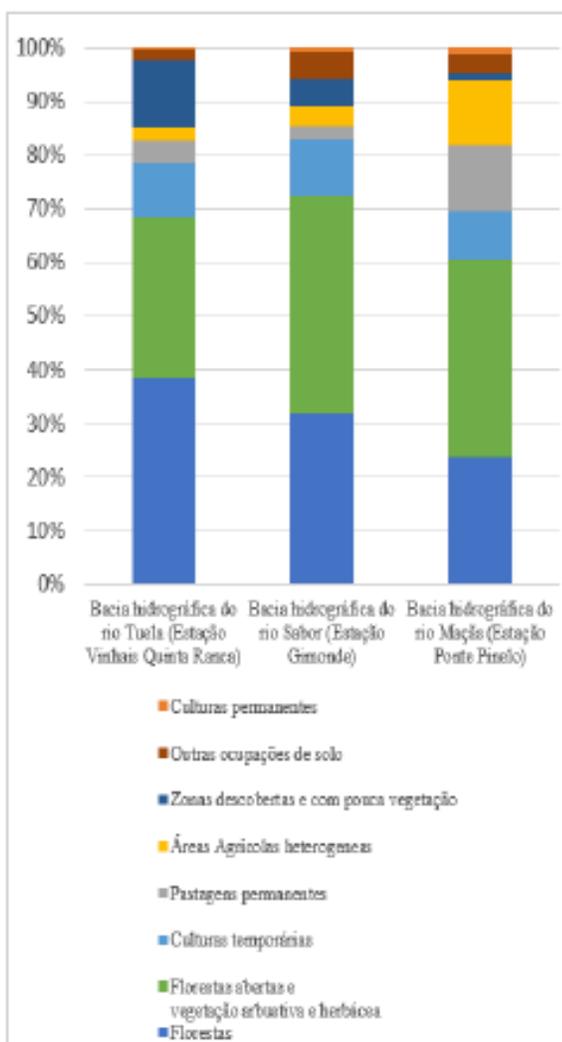


Fig. 2. REPRESENTAÇÃO EM PORCENTAGEM DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO TUELA, SABOR E MAÇÃS.

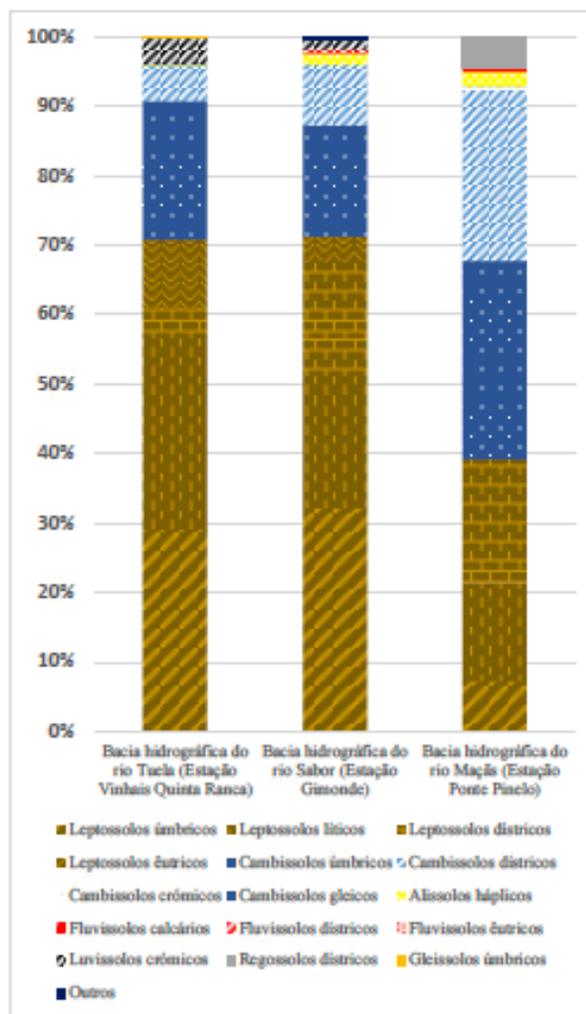


Fig. 3. PARCELAS EM PORCENTAGEM DE ÁREA DE TIPOS DE SOLO (CLASSIFICAÇÃO PRIMÁRIA E SECUNDÁRIA) DE ACORDO COM A UNIDADE PEDOLÓGICA E SUA RESPECTIVA BACIA HIDROGRÁFICA.

Analisando os resultados de precipitação média anual e relacionando-os com resultados de altitude pode-se notar a presença do gradiente climático na área de estudo. Segundo [17] a altitude é um dos principais agentes que condicionam a heterogeneidade do clima montanhês sendo responsável direto nos valores de precipitação. Ademais, os autores [18], [19] e [20], dentre as classificações de tipos de chuvas, citam as orográficas que ocorrem quando massas de ar quentes e húmidas colidem com montanhas e ao se elevarem resfriam o vapor de forma adiabática provocando assim a precipitação. Assim ao analisar a tabela III é perceptível a ocorrência desse evento demonstrando que a bacia mais húmida é a do rio Tuella que tem o maior valor de altitude média, 1038,76, assim como o maior valor de precipitação média anual, 1409,80. Já a bacia do rio Sabor que se encontra entre as outras duas evidencia a transição do gradiente climático tendo como altitude média 852,82, precipitação média anual 1090,72, e a bacia do rio Maças, considerada a bacia com clima seco tem os menores valores, sendo para altitude média 766,21 e com precipitação média anual de apenas 822,56.

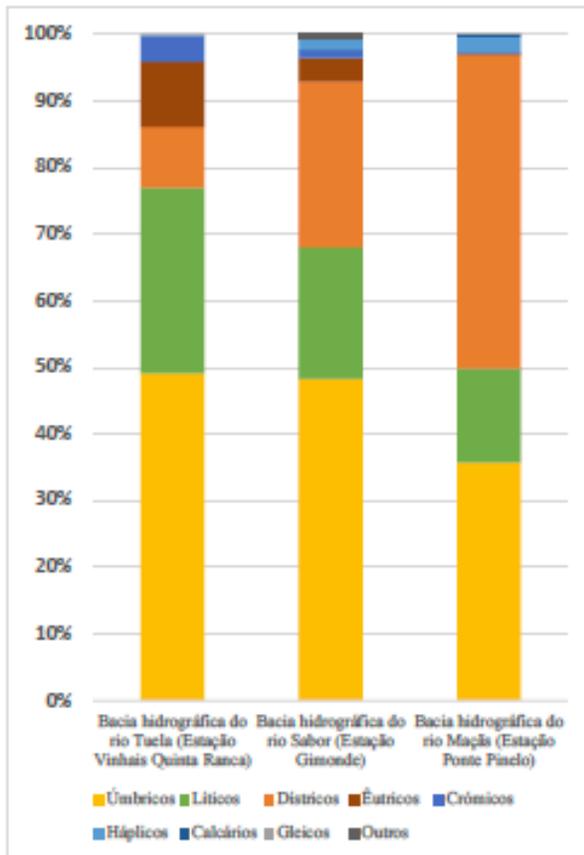


Fig. 4. PARCELAS EM PORCENTAGEM DE ÁREA DE TIPOS DE SOLO (CLASSIFICAÇÃO SECUNDÁRIA) DE ACORDO COM A UNIDADE PEDOLÓGICA E SUA RESPECTIVA BACIA HIDROGRÁFICA.

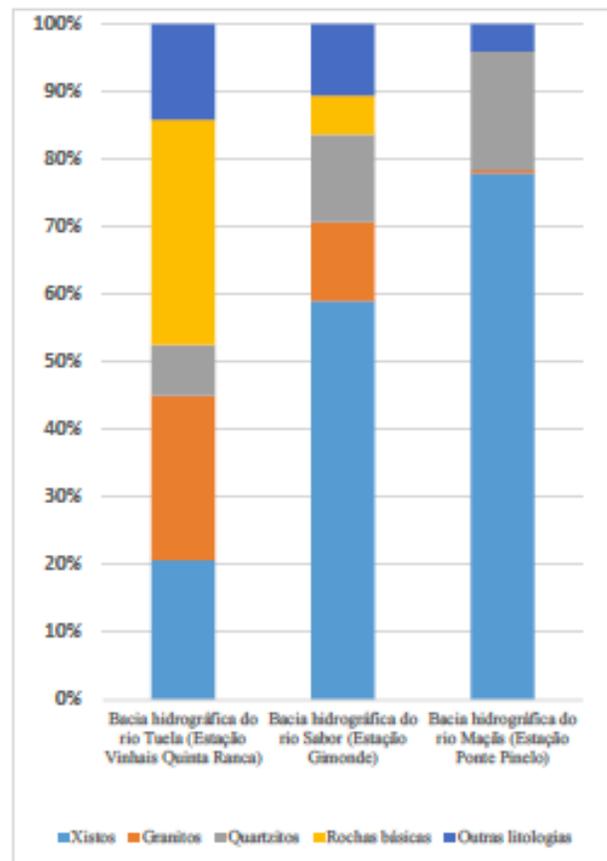


Fig. 5. PARCELAS EM PORCENTAGEM DAS LITOLÓGICAS PRESENTES EM SUA RESPECTIVA BACIA HIDROGRÁFICA.

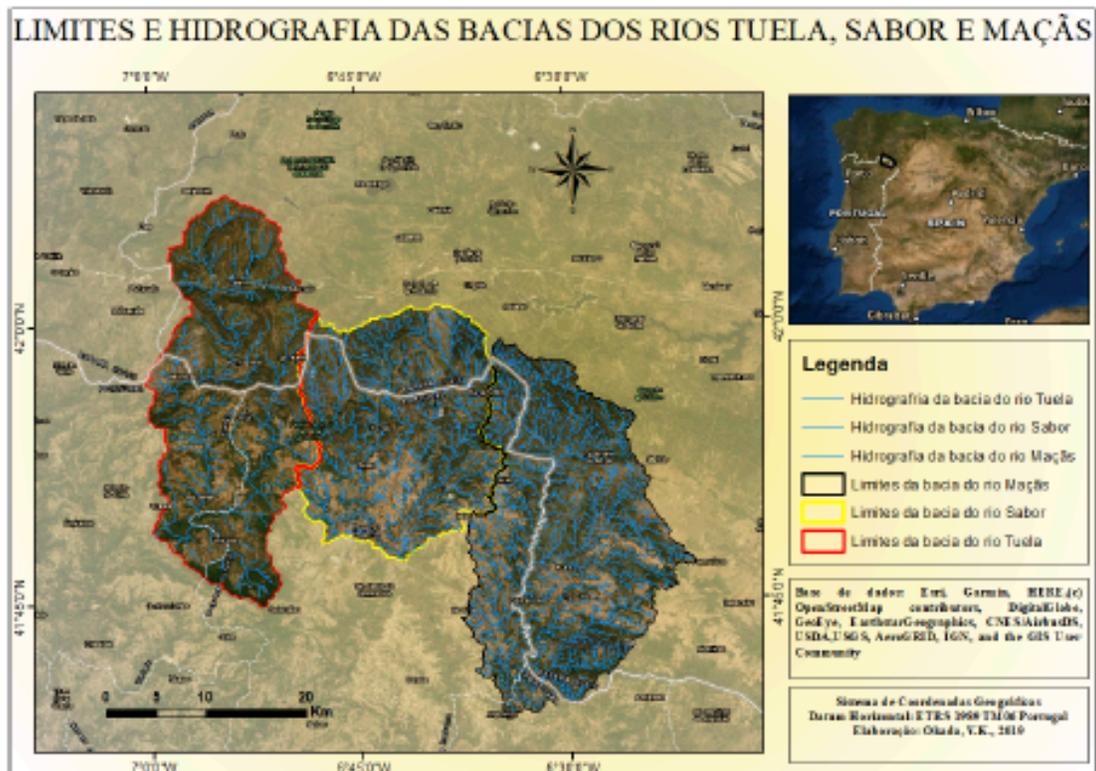


Fig. 6. IDENTIFICAÇÃO DOS LIMITES DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS E SUAS HIDROGRAFIAS

TABELA III. ELEMENTOS CARACTERIZADORES DAS TRÊS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Características e indicadores	Bacias:		
	<i>Rio Tuela (Vinhais Quinta Ranca)</i>	<i>Rio Sabor (Gimonde)</i>	<i>Rio Maças (Ponte Pinelo)</i>
Área	478,46	406,88	530,28
Perímetro	126,13	127,16	161,82
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,63	1,78	1,98
Fator Forma (Kf)	0,39	0,61	0,37
Comprimento da Bacia (Km)	34,89	25,77	37,92
Densidade de drenagem (Km ² /Km)	0,95	1,79	2,30
Comprimento total linhas de água (km)	456,83	727,65	1221,92
Altitude Média	1038,76	852,82	766,21
Altura Média	329,68	353,82	290,81
Declive médio (°)	13,11	11,78	10,69
Precipitação média anual	1409,80	1090,72	822,56
Escoamento médio diário (m ³ /s)	10,36	5,86	3,77
Coefficiente de escoamento	0,48	0,42	0,27

Pode-se notar a presença do gradiente climático também na figura 4 havendo maiores áreas de solos úmbricos nas bacias tanto do rio Tuela quanto do rio Sabor em comparação com a do rio Maças e, tomando como base [21] é clara a presença de solos úmbricos em locais com maiores precipitações e menores temperaturas, sendo ambas justificadas pela altitude ser maior nas duas bacias já que ambas são mais húmidas que a bacia do rio Maças.

Para a análise de risco hidrológico e sua comparação nas três bacias hidrográficas é necessário realizar a separação dos escoamentos superficiais e subterrâneos ao longo do tempo para poder inferir com mais propriedade sobre os riscos de cheias e secas hidrológicas. Porém, com os resultados obtidos nesse trabalho é possível avançar hipóteses sobre tendências das bacias hidrográficas com base na sua forma, relevo, uso e ocupação do solo e clima.

Observando os resultados obtidos quanto a forma da bacia hidrográfica e levando em consideração [16], é possível inferir sobre a propensão para a ocorrência de cheias de acordo com o coeficiente de compacidade (Kc) (sendo este valor mais próximo da unidade haverá mais tendência para a ocorrência de cheias), fator forma (Kf) (valores menores menos propenso para a ocorrência de cheias), e da densidade de drenagem (λ) (bacias com melhor drenagem terão menos tendência para cheias). Pode-se perceber que a bacia do rio Maças é a que possui menor tendência para cheias, quando comparada com as outras duas bacias, devido possuir maior valor de Kc, 1,98, o menor valor de Kf, 0,37, e por fim possuir maior densidade

de drenagem, 2,30 Km/Km². (Tabela III). As bacias dos rios Tuela e Sabor apresentam condições mais favoráveis à ocorrência de cheias sendo que a primeira possui para Kc, 1,63, Kf, 0,39 e densidade de drenagem, 0,95 Km/Km², e a segunda para Kc, 1,78, Kf, 0,61, e densidade de drenagem, 1,79 Km/Km², apesar da bacia do rio Tuela possuir dois resultados, Kc e densidade de drenagem, favoráveis a ocorrência de enchentes quando comparada com a bacia do rio Sabor, que possui apenas um, fator forma, não é possível afirmar qual delas possui maior tendência a enchentes.

No trabalho de [22] sublinha-se que a cobertura do solo exposta a ação da precipitação acarreta a maior formação de poças que posteriormente irão gerar escoamentos superficiais que são intensificados quanto maior for o declive do terreno. É possível inferir, pelos dados da Tabela III e pela Figura 2, que a bacia do rio Tuela está mais propensa a eventos de cheia devido ao maior declive e à maior proporção de área descoberta e com pouca vegetação. Seguida pela bacia do rio Sabor que possui valores de transição entre as outras duas bacias estando então, por suposição, menos propensa a enchentes quando comparada com a bacia do rio Tuela, mas maior tendência se comparada com a bacia do rio Maças, devido ao menor declive e a menor área com cobertura do solo exposta. Entretanto é notório que a bacia do rio Sabor é a que possui maior área com cobertura vegetal oferecendo resistência ao do escoamento superficial.

Os solos também exercem influência sobre o escoamento superficial e, assim, sobre as cheias hidrológicas, segundo [23] os leptossolos são característicos de serem delgados e assim secos ou alagados com certa facilidade. Observando a Figura 3 nota-se maior área com leptossolos nas bacias do rio Tuela e Sabor, então, teoricamente, essas bacias tendem a estar propensas à cheias com maior facilidade que a bacia do rio Maças, por esta possuir menos Leptossolos.

Segundo [24] a análise da seca a partir de uma visão regional é baseada na distribuição espacial das variáveis determinantes, fundamentadas nas características climáticas e geomorfológicas, em locais pontuais que sejam representativos da região a ser analisada. Portanto, tomando como base os resultados obtidos, é possível concluir que, teoricamente, a bacia do rio Maças está propensa a eventos de seca possuindo menor média de precipitação devido aos fatores como a altura que possibilita a ocorrência de chuvas orográficas.

IV. CONCLUSÃO

Visto que a região de montanha é um importante território para serviços de ecossistemas e, dentre eles, de regulação e qualidade hidrológica, este trabalho pode concluir que, mesmo com uma abordagem teórica, as bacias do rio Tuela e Sabor possuem tendências para ocorrência de cheias hidrológicas de acordo com os resultados de precipitação, assim como de uso e ocupação do solo e do principal tipo de solo encontrado na região. Já a bacia do rio Maças possui tendência para a ocorrência de seca hidrológica com base nos valores de precipitação média anual, obtendo a menor média entre as bacias analisadas. Ademais, nota-se que o gradiente climático acompanha diferentes respostas de risco hidrológico para as bacias

deixando evidente que, em um curto espaço territorial há bacias propensas a cheias, as bacias mais húmidas, e outras a secas hidrologicas, bacias com carência de água.

Por fim, pode-se inferir com mais convicção a ocorrência de risco hidrologicos dessas bacias através de estudos temporais da evolução dos caudais diretos e do escoamento de base, permitindo maior precisão da resposta hidrologica da região e comparando-a com as variáveis climatológicas, uso e ocupação do solo, forma da bacia hidrográfica, litologia e pedologia da região, que foi realizado nesse estudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Politécnico de Bragança por todo apoio fornecido para a realização deste trabalho.

REFERENCES

- [1] Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC). 2014. Alterações Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade - Resumo para Decisores. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas. Organização Meteorológica Mundial (WMO), Genebra, Suíça, 34 págs.
- [2] F. Giorgi. (2006) - Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, vol. 33, p. L08707.
- [3] H.M. Pereira; T. Domingos e L. Vicente (Eds.) (2004) - Portugal Millennium Ecosystem Assessment: State of the Assessment Report. Lisboa, Centro de Biologia Ambiental, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 68 p.
- [4] C. Huntingford; J. Gash e A.M. Giacomello. (2006) - Climate change and hydrology: next steps for climate models. *Hydrological Processes* n. 20, p. 2085-2087.
- [5] Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Produtos e serviços - Base de dados de precipitação diária - Portugal Continental. Disponível Internet: <URL: <https://www.ipma.pt/pt/producoes/servicos/index.jsp?page=dataset.pr02.xml>>
- [6] Instituto Tecnológico Agrario da jata de Castilla y Leon (ITACyL). Atlas agroclimático. Disponível Internet: <URL: <http://atlas.itacyl.es/>>
- [7] Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH). Dados de base - Monitorização. Disponível Internet: <URL: <https://snirh.spambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1>>
- [8] Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). ALOS Global Surface Model "ALOS World 3D - 30 m" (AW3D30). Disponível Internet: <URL: https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/data/html_1903/w020w030_n050e000.htm>
- [9] Sistema Nacional de Informação Geográfica. Registro Nacional de Dados Geográficos. Disponível Internet: <URL: <https://catalogo.snig.dgterritorio.gov.pt/catalogo/srv/por/catalog.sea.rch/#search>>
- [10] Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE). Productos. Disponível Internet: <URL: <https://www.siose.es/web/guest/productos>>
- [11] Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Servicios de mapas. Disponível Internet: <URL: http://mapas.igme.es/Servicios/default.aspx#IGME_MAGNA_50>
- [12] Instituto Tecnológico Agrario da jata de Castilla y Leon (ITACyL). Portal de Suelos - Mapas. Disponível Internet: <URL: <http://suelos.itacyl.es/mapas>>
- [13] Direção-Geral do Território, 2018. Especificações técnicas da Carta de uso e ocupação do solo de Portugal Continental para 1995, 2007, 2010 e 2015. Relatório Técnico. Direção-Geral do Território. Disponível Internet: <URL: <http://mapas.dgterritorio.pt/atom-dgt/pdf-cons/COS2015/ET-COS-1995-2007-2010-2015.pdf>>
- [14] Agroconsultores & Caba. 1991. Carta de Solos, Carta do Uso Actual da Terra e Carta da Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Agroconsultores e Caba.
- [15] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAO SOILS PORTAL. Disponível Internet: <URL: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/faomesco-soil-map-of-the-world/en/>>
- [16] A. Lencastre, F. M. Franco - Lições de Hidrologia. 3ª ed. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2006.
- [17] D.A. Gonçalves; T. Figueiredo; A. C. Ribeiro; S. M. Leite. A geografia e o clima das montanhas ibéricas. Sustentabilidade da montanha portuguesa: realidades e desafios. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 2016. ISBN 978-972-745-220-0. Cap 2, p. 9-38.
- [18] P. E. Black - Watershed hydrology. 2ª ed. Michigan: Ann Arbor Press, 1996.
- [19] J. C. Bertoni; C. E. M. Tucci - Hidrologia: ciência e aplicação. 2ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/FRGS, 2001. Precipitação p.177-231.
- [20] W. Collischonn; R. Tassi. Introduzindo Hidrologia. 5ª ed. Maio 2008.
- [21] T. A. F. R. Figueiredo. Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 2013. ISBN 978-972-745-138-8
- [22] A. L. F. Alves. Efeitos de Condicionadores do Solo na Erosão Hídrica em Áreas Áridas no Nordeste de Portugal. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 2018. Tese de Mestrado.
- [23] A. M. Ferreira. Caracterização de Portugal Continental. Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Factores de Variação regional. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2000. Cap. 2, p. 19-61.
- [24] M. J. J. SANTOS, Caracterização e monitorização de Secas. Instituto da Água - Direção de Serviços de Recursos Hídricos, 1998

Estudo Comparativo Da Microbiologia Do Solo Em Soutos Demonstração: Contributo Para O Desenvolvimento De Estratégias De Adaptação Sustentáveis

Samuel Diegues, Ermelinda Pereira, Sandra Afonso, Maria Patrício

Samuel Diegues
 . Instituto Politécnico de
 Bragança. Escola Superior
 Agrária. Campus Sta.
 Apolónia, 5300-253
 BRAGANÇA, Portugal
 samucas04@hotmail.com

e Biotecnologia, ESA, IPB.
 Centro de Investigação de
 Montanha – CIMO.
 Instituto Politécnico de
 Bragança. Campus Sta.
 Apolónia, 5300-253
 BRAGANÇA, Portugal
 epereira@ipb.pt

Instituto Politécnico de
 Bragança. Campus Sta.
 Apolónia, 5300-253
 BRAGANÇA, Portugal
 sandraafonso@ipb.pt

Investigação de Montanha
 – CIMO. Instituto
 Politécnico de Bragança.
 Campus Sta. Apolónia,
 5300-253
 BRAGANÇA, Portugal
 sampat@ipb.pt

Ermelinda Lopes Pereira
 Departamento de Biologia

Sandra Afonso
 Centro de Investigação de
 Montanha – CIMO.

Maria do Sameiro Patrício
 Departamento de Ambiente
 e Recursos Naturais, ESA,
 IPB. Centro de

1. Resumo—As alterações climáticas influenciam diretamente as áreas de produção de castanha sendo indispensável implementar medidas de adaptação e mitigação para que estas se tornem mais resilientes. O objetivo deste trabalho é avaliar as alterações na biomassa microbiana e na respiração do solo em dois sistemas agroflorestais (soutos) jovens, em situação contrastante, para produção de castanha, com vista a torná-las mais resilientes às alterações climáticas futuras por meio de uma gestão adaptativa e conservativa da matéria orgânica. Para avaliar a atividade microbiana do solo em cada parcela de estudo, designadamente o carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS) e contagem de bactérias e fungos, foram realizadas amostragens em duas épocas do ano, primavera (maio) e outono (outubro) de 2018, na profundidade de 0-10 cm. Nos microrganismos do solo predominam os fungos relativamente às bactérias em ambos os locais. Esta primeira análise demonstra alguma diferenciação entre os dois locais em estudo que se pode traduzir em maior ou menor vigor dos soutos e conseqüentemente melhor ou pior adaptação às alterações climáticas

Palavras chave— estratégias de adaptação climática; Castanheiro, agroflorestal, resiliência

*INTRODUÇÃO

As alterações climáticas influenciam diretamente as áreas de castanheiro sendo indispensável implementar medidas de adaptação e mitigação nos sistemas agroflorestais para produção de castanha (soutos) com o objetivo de os tornar mais resilientes e produtivos. A aplicação de uma gestão conservativa da matéria orgânica no solo não só contribui

para o aumento da produtividade como para a diminuição dos gases de efeito de estufa. Assim, compreender como a aptidão dos soutos se altera face às alterações climáticas é de primordial importância com vista ao desenvolvimento de estratégias de adaptação das regiões produtoras de castanha. Alcançar estes objetivos tem importantes repercussões na economia de montanha a qual depende não somente da produção, mas também da sua qualidade. Assim, o conhecimento das condições específicas do solo e da atividade microbiana do mesmo pode ajudar a identificar as melhores soluções de mitigação, ao nível da gestão do solo, para os agricultores nas zonas mais afetadas pelas condições do clima.

As variáveis biológicas do solo são consideradas bons indicadores de qualidade do solo devido à elevada sensibilidade e capacidade destes organismos para refletir os efeitos da gestão agronómica. No entanto, esses indicadores frequentemente mostram alta variabilidade temporal [1].

O conhecimento dos níveis de carbono da biomassa microbiana (CBM) no solo torna-se importante para a conservação da matéria orgânica do solo, monitorização de áreas sob influência antrópica, servindo como um

sensível indicador às alterações provocadas no ambiente [2].

A respiração basal do solo (RBS) é definida como a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o CO₂ é produzido. As bactérias e os fungos são os principais responsáveis pela maior libertação de CO₂ via degradação da matéria orgânica (MO). A RBS possui uma estreita relação com as condições abióticas do solo, entre elas a humidade, a temperatura e o arejamento. [3].

O objetivo deste trabalho é avaliar as alterações na biomassa microbiana e na respiração do solo em dois sistemas agroflorestais (soutos) jovens, em situação contrastante, para produção de castanha, com vista a torna-las mais resilientes às alterações climáticas futuras por meio de uma gestão adaptativa e conservativa da matéria orgânica.

*MATERIAIS E MÉTODOS

a. Descrição do local de estudo

No âmbito do projeto GO ClimCast, financiado pelo PDR2020 e cofinanciado pelo FEADER, no âmbito do Portugal 2020, instalaram-se dois soutos demonstração, com aproximadamente 0,5 ha cada um, em abril de 2018, em condições climáticas contrastantes. Os dois soutos de demonstração de castanheiro estão localizados na localidade de Salgueiros, concelho de Vinhais (41°54'12.73"N; 7°01'40.95"W, altitude: 1008 m, Exposição S) e em Parada, concelho de Bragança (41°38'12.53"N; 6°42'42.94"W, altitude: 740 m, exposição S-SE). A precipitação média anual em Salgueiros é da ordem de 1215,6 mm e em Parada 821,1 mm. A temperatura média anual para a região é de 11,9°C, a temperatura máxima absoluta é de 37,2 °C, atingida no mês de Junho, e a mínima absoluta é de -11,4 °C, observada no mês de Janeiro [4].

O relevo é ondulado e os solos são derivados de xistos correspondentes a Leptosolos na região de Parada e Cambissolos na região de Salgueiros.

b. Amostragem do solo

A amostragem do solo para a caracterização inicial do mesmo foi realizada no mês maio de 2018 em diferentes profundidades (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm). Em cada

plantação colheram-se 4 amostras por profundidade que, depois de secas em estufa a 45°C, foram crivadas com um crivo de malha 2 mm.

Para avaliar a atividade microbiana do solo em cada parcela de estudo, designadamente o carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS) e contagem de bactérias e fungos, foram realizadas amostragens em duas épocas do ano, primavera (maio) e outono (outubro) de 2018, na profundidade de 0-10 cm. As amostras, num total de 4 por parcela, foram crivadas com uma malha de 2 mm e removidos os resíduos vegetais e fragmentos de raízes visíveis. Antes do seu processamento analítico o teor de humidade das amostras foi ajustado para 50% da capacidade de campo.

c. Análise química microbiológica.

O carbono orgânico do solo (Corg) foi determinado pelo método de Walkey-Black. O pH das amostras foi determinado potenciométricamente numa suspensão de solo e água e numa solução de KCl, na proporção de 1:2,5 (m/v). O fósforo e o potássio extraíveis foram determinados de acordo com o método de Egner-Riehm, numa solução de lactato de amónia e ácido acético a pH 3,7. O fósforo no extracto foi determinado por espectrofotometria UV/VIS e o potássio por fotometria de chama. As bases de troca foram extraídas numa solução de acetato de amónia tamponizada a pH 7,0. O Ca e Mg foram determinados por espectrometria de absorção atómica. O K e Na por espectrometria de emissão de chama [5]. A acidez de troca foi determinada por titulação após extração com KCl 1M.

O CBM do solo foi estimado pelo método de fumigação-extração de acordo com as metodologias descrita [2], através de fumigação directa das amostras (20 g de solo) com 1mL de clorofórmio livre de etanol, que posteriormente foram incubadas em estufa a 25°C durante 24 h no escuro. O C das amostras fumigadas e não fumigadas foi extraído com uma solução de K₂SO₄ a 0,5 M, na proporção de 1:4 (m/v). O CBM foi calculado pela diferença entre os valores de C obtido das amostras fumigadas e o das amostras não fumigadas, multiplicado pelo fator de correção (kC) de 0,33 [6].

A determinação da RBS foi efectuada de acordo com a norma ISO 16072:2002 [7], em que 25g de solo de cada amostra foi incubado à temperatura de 25°C, durante 7

dias, em frascos de vidro hermeticamente fechados contendo 20 mL de uma solução de NaOH 1M, para a captura do CO₂ libertado pela amostra. Após a incubação adicionou-se BaCl₂ 10% (m/v), para precipitação do carbonato, e o excesso de NaOH foi determinado por titulação com solução de HCl 0,5 N. Como indicador utilizaram-se 2 gotas de fenolftaleína 1% (m/v). O quociente metabólico (qCO₂) do solo foi calculado dividindo RBS pelo CBM. O quociente microbiano pela razão entre CBM e o carbono orgânico total do solo.

A contagem de microrganismos viáveis do solo foi feita pelo método de diluição seriada e espalhamento em placa nos seguintes meios de cultura: *Plate count* agar (PCA, Liofilchem, Italy) com adição de 100 mg/L de cicloheximida, para a contagem de bactérias e *Rose Bengal Chloramphenicol* (RBC, Liofilchem, Italy) para a quantificação de fungos. As placas foram incubadas a 30°C durante 72h para as bactérias e a 25°C durante 120h para os fungos. Os resultados foram expressos em logaritmo de unidades formadoras de colónias por grama de solo seco (log ufc/g).

d. Análise estatística

Os dados foram objecto de análise de variância (após verificação dos respetivos pressupostos estatísticos) efetuada no software JMP, versão 11. Para a comparação múltipla de médias utilizou-se o teste de Tukey para um nível de significância $p < 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização química dos solos das áreas em estudo encontra-se apresentada na Tabela I. No solo do soto de Parada os valores médios dos parâmetros analisados não variaram significativamente com a profundidade, demonstrando ser um solo mais homogéneo. Contudo, no de Salgueiros os valores médios de C orgânico, potássio e CTCe foram significativamente mais elevados na profundidade 0-10 em relação às restantes camadas.

TABELA I

CARATERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS DAS ÁREAS EM ESTUDO

Local	Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	pH KCl	Corg (g kg ⁻¹)	P mg kg ⁻¹	K mg kg ⁻¹	CTCe cmol _c kg ⁻¹	GSB (%)
Parada	0-10	5,5 ^a	4,2 ^a	1,6 ^a	10,1 ^a	97,7 ^a	3,8 ^a	51,6 ^a
		(0,0)	(0,0)	(0,1)	(2,9)	(13,7)	(0,3)	(5,7)
	10-20	5,5 ^a	4,2 ^a	1,3 ^a	10,0 ^a	98,3 ^a	3,7 ^a	43,2 ^a
		(0,0)	(0,0)	(0,2)	(0,6)	(11,8)	(0,66)	(4,6)
	20-40	5,4 ^a	4,1 ^a	1,5 ^a	19,1 ^a	85,7 ^a	3,6 ^a	47,9 ^a
		(0,16)	(0,15)	(0,23)	(4,4)	(11,0)	(0,79)	(9,0)
Salgueiros	0-10	5,3 ^a	4,1 ^a	2,0 ^a	21,6 ^a	97,7 ^a	5,9 ^a	50,5 ^a
		(0,1)	(0,1)	(0,3)	(5,2)	(16,2)	(0,6)	(9,9)
	10-20	5,3 ^a	4,0 ^a	1,1 ^b	22,6 ^a	51,7 ^b	4,6 ^{ab}	39,3 ^a
		(0,1)	(0,1)	(0,2)	(4,1)	(3,9)	(0,53)	(8,1)
	20-40	5,3 ^a	4,0 ^a	1,0 ^b	29,6 ^a	47,0 ^b	4,2 ^b	39,6 ^a
		(0,19)	(0,08)	(0,38)	(19,8)	(4,9)	(0,37)	(11,2)

Valores médios ± erro padrão entre parêntesis; GSB – Grau de saturação em bases; Letras diferentes por local e profundidade indicam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

A ANOVA de um fator realizada para comparação dos dois sotos em análise (Parada e Salgueiros) demonstrou existirem diferenças significativas ($P < 0,05$) para os seguintes parâmetros: pH (H₂O), CTCe, P₂O₅ e K₂O. Não foram encontradas diferenças significativas para o carbono orgânico no solo nos dois sotos.

Na Tabela II são apresentados os valores da atividade microbiana do solo nos dois locais de estudo. A este nível verificam-se diferenças no período primaveril entre os dois locais para os parâmetros CBM (carbono da biomassa microbiana) e RBS (respiração basal do solo). A diferença encontrada para estes parâmetros deve-se ao facto dos solos terem tido usos diferentes antes da instalação das plantações de castanheiro (cereal em Salgueiros e floresta de pinheiro em Parada). Esta diferença atenua-se com o decorrer do tempo devido à normalização do tratamento do solo e à colonização progressiva da matéria orgânica mais resiliente após a instalação dos ensaios.

TABELA II
ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO

Local	Data	Corg	CBM	RBS	CBM/ Corg	qCO ₂
		g/kg	(mgC kg ⁻¹ solo)	(mg de C- CO ₂ kg ⁻¹ solo d ⁻¹)	(mg/g)	(mgC- CO ₂ g)
Parada	Maio	16,1 ^a (1,2)	173,3 ^b (117,4)	88,0 ^b (13,5)	12,1 ^a (8,6)	79,0 ^a (44,8)
	Out	16,1 ^a (1,2)	428,0 ^{ab} (32,3)	40,9 ^b (17,4)	27,0 ^a (3,1)	3,8 ^a (1,4)
Salgueiros	Maio	20,2 ^a (3,1)	545,1 ^a (65)	495,4 ^a (28)	28,6 ^a (5,3)	36,5 ^a (6)
	Out	20,2 ^a (3,1)	531,1 ^a (65,8)	103,2 ^b (10,4)	28,8 ^a (6)	8,7 ^a (1,7)

Letras diferentes por coluna indicam diferenças significativas ($p < 0,05$); entre parêntesis o erro padrão

É de salientar que o souto de Salgueiros apresentou nas duas épocas do ano valores significativamente mais elevados de C microbiano em relação à amostragem de maio em Parada, tendo havido uma recuperação na avaliação outonal em parada embora não possa ser considerada diferente. Também a RBS foi significativamente mais elevada no souto de Salgueiros na observação primaveril. Por seu turno, o quociente microbiano (CBM/Corg) e o quociente metabólico do solo (qCO₂) não variaram significativamente entre locais e épocas do ano. Para estas diferenças contribuiu a maior concentração de carbono orgânico na camada 0-10 cm em Salgueiros. Com o decorrer do tempo e a manutenção do solo nu verificou-se um aumento da atividade microbiana com redução nos valores da respiração basal do solo entre a primavera e o outono. A colonização da biomassa microbiana por grama de solo foi idêntica nos dois locais bem como a eficiência do uso do substrato pelos microrganismos do solo.

Os resultados dos microrganismos viáveis do solo são apresentados na Fig. 1. A quantidade de unidades

formadoras de colônias por grama de solo seco para os fungos varia significativamente entre os dois locais com valores superiores em Salgueiros, tanto na primavera como no outono. Relativamente à quantidade de bactérias verifica-se diferença entre os dois locais apenas na avaliação outonal com o maior valor observado igualmente em Salgueiros.

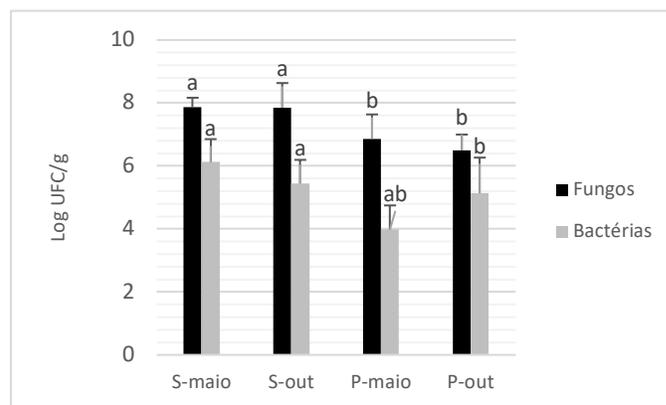


Fig. 1 Abundância de bactérias e fungos nos dois locais (letras diferentes por tipo de microrganismo indicam diferenças significativas ($p < 0,05$)), S é referente a Salgueiro e P a Parada.

Nos microrganismos do solo predominam os fungos relativamente às bactérias em ambos os locais. Em jeito de conclusão esta primeira análise demonstra alguma diferenciação entre os dois locais em estudo. Assim, a quantidade de fungos e bactérias é superior em Salgueiros devido à matéria orgânica para decomposição estar mais acessível e em maior quantidade para os microrganismos. Em Parada, os resíduos orgânicos existentes no solo provêm do pinhal previamente existente no local com um tipo de matéria orgânica, rica em lenhina, mais difícil de decompor pelos microrganismos. Isto é visível na recuperação do carbono da biomassa microbiana da primavera para o outono neste local. O conhecimento dos níveis CBM são importantes para avaliar a conservação da matéria orgânica no solo e monitorizar a gestão agronómica praticada para que se possa implementar uma gestão mais conservativa da matéria orgânica e mais amiga do ambiente. Esta primeira análise demonstra alguma diferenciação entre os dois locais em estudo que se pode traduzir em maior ou menor vigor dos soutos e consequentemente melhor ou pior adaptação às alterações climáticas. Novas avaliações estão em curso com vista à clarificação das tendências verificadas com vista à

melhoria das estratégias de adaptação e gestão das regiões produtoras de castanha na região de Bragança-Vinhais.

AGRADECIMENTOS

Trabalho realizado no âmbito do projeto GO_ClimCast financiado pelo FEADER e pelo Estado Português, no âmbito da Ação 1.1 “Grupos Operacionais” integrado na Medida 1. Inovação do PDR 2020.

REFERENCIAS

[1] S.Benintende, M.Benintende, M.Sterren, M.Saluzzio e P.Barbagelata “Biological variables as soil quality indicators: Effect of sampling time and ability to classify soils by their suitability” Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNER, Ruta 11 km 10, CP: 3100, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina, Ecological Indicators 52 (2015) 147–152

[2] E.Silva ,P.Azevedo e H.De-Polli, ”Determinação do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (BMS-C)” ISSN 1517-8862 Agosto 2007 Seropédica/RJ

[3] E.Silva ,P.Azevedo e H.De-Polli “Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)” ISSN 1517-8862 Agosto 2007 Seropédica/RJ

[4] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA, 1991. O Clima de Portugal. Fascículo XLIX, Vol. 3, 3ª Região, 70 p.

[5] Van Reeuwijk. 2002 (E). Procedures for soil analysis. Technical Paper 9. ISRIC. FAO.

[6] SPARLI, G. P; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial- C – calibration in situ using microbial respiration and C-Labeled cells. Soil Biology & Biochemistry, Oxford, v.20, .3, p. 337-343,1988.

[7] ISO 16072:2002. Soil quality — Laboratory methods for determination of microbial soil respiration

Análise das Concentrações de Dióxido de Azoto (NO₂) no Concelho de Lisboa

Mark Farias, Ana Segatelli, Arthur Lima, Vinícius Okada, Manuel Feliciano

Mark Matheus Yuri Lee Farias
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
markfarias@alunos.utfpr.edu.br

Ana Beatriz de Melo Segatelli
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
anabsegatelli@gmail.com

Arthur Aparecido Janoni Lima
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
arthurajl_@hotmail.com

Vinícius Kenzo Okada
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
vkokada@gmail.com

Manuel Feliciano
Centro de Investigação de Montanha
(CIMO), Instituto Politécnico de
Bragança
Bragança, Portugal
msabenca@ipb.pt

Resumo—Diversas ações antrópicas são responsáveis por causar desequilíbrios no ambiente, como é o caso da poluição atmosférica causada pela libertação de diversos poluentes como o dióxido de azoto (NO₂), prejudicial à saúde humana. Como forma de se evitar, prevenir ou reduzir as concentrações dos poluentes atmosféricos, Portugal implantou o Decreto-Lei n.º 102/2010 que fixa os objetivos para a qualidade do ar ambiente tendo em conta orientações da Organização Mundial da Saúde (OMS). Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo comparar a relação entre as concentrações de NO₂ em dois períodos distintos de 2018, para o concelho de Lisboa: mês de agosto, onde há aumento de turistas na região, e em maio, mês menos turístico. Para isso, recorreu-se aos dados de qualidade do ar de cinco estações da rede nacional de monitorização existentes no concelho de Lisboa, disponibilizados no website QualAr. Esses dados foram posteriormente tratados em software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e representados na forma de mapas. Além disso, foi feita a comparação da concentração diária do poluente e da velocidade do vento diária, nos mesmos meses de 2018. Como resultados principais verificou-se a influência do aumento do turismo na região no mês de agosto, onde a concentração máxima de NO₂ foi de 138 µg.m⁻³, enquanto no mês de maio a concentração máxima foi de 106 µg.m⁻³. Também é bem visível a influência do vento na concentração do poluente na atmosfera, pois correlacionando os dados da velocidade do vento com a concentração de NO₂ para esse intervalo de tempo, constata-se o decréscimo da sua concentração à medida que a velocidade do vento aumenta. Face ao exposto, é notório que o aumento do fluxo de veículos e pessoas na capital portuguesa durante o mês de agosto provoca o aumento da concentração de NO₂ para toda a cidade. Ademais, a influência do vento exerce um papel de

dispersão do poluente, logo, quanto maior for sua velocidade menor será a concentração do NO₂.

Palavras Chave— *poluição atmosférica; qualidade do ar; variação espacial, sistema de informação geográfica.*

INTRODUÇÃO

Diversas ações antrópicas são responsáveis por causar desequilíbrio no ambiente. Em cenário urbano, uma das principais problemáticas está associada à poluição atmosférica, uma vez que em grandes aglomerações populacionais, a intensa emissão de gases é inevitável, seja por conta das tecnologias ultrapassadas ou pela falta de comprometimento das indústrias e consciencialização da população [1].

O turismo vem sendo considerado como um grande contribuidor para diversas formas de poluição ambiental, incluindo a poluição dos solos, da água e da atmosfera. Visando a melhoria da qualidade do ar ambiente, o quinto programa de ação do meio ambiente da União Europeia considerou, dentro de outros setores, o turismo como um dos responsáveis pela redução da qualidade do ar ambiente [2] e [3].

Como observado por [4] há uma relação clara de interdependência entre o turismo e a qualidade do

ambiente, sendo que por um lado o turismo depende do meio natural e assim do consumo de recursos naturais, enquanto por outra perspectiva, o aumento do turismo em determinada região causa impactos devido ao consumo desses recursos e à poluição. O autor ainda cita que as atividades de turismo em Portugal são responsáveis por 10% das emissões nacionais de CO₂, sendo que desta quantia, os transportes representam 89% e os setores de hotelaria e alimentação cerca de 5% cada.

A cidade de Lisboa, em Portugal, é o destino escolhido por diversos turistas, fazendo com que a população sofra variações no decorrer do ano, principalmente no verão, por ser um período de férias [5] e [6]. Assim, visando o bem-estar da população e dos turistas e com a preocupação com a qualidade do ar de forma a proteger a saúde humana e a preservação da fauna e flora, a partir do final da década de 80 começou-se a impulsionar a recolha de dados referentes à qualidade do ar, visto que antes disso ainda era pouca a cobertura espacial da cidade no que concerne à monitorização dos poluentes, entre eles o dióxido de azoto (NO₂), segundo [7].

O NO₂ é um gás proveniente da oxidação que ocorre do monóxido de azoto na presença de oxigénio. Os óxidos de azoto podem ser formados a partir da combustão interna dos motores da frota automóvel, fazendo com que em centros urbanos apresentem maior ocorrência da formação desse composto. Por se tratar de um gás instável, a radiação solar ou até mesmo vapor de água presente na atmosfera pode colaborar para criação de outros poluentes como o ácido nítrico (HNO₃) que posteriormente tende a se precipitar no solo, alterando as características do mesmo [5], [8] e [9]. Ainda [5] observa que o impacto das substâncias químicas lançadas na atmosfera varia de acordo com a sua composição química, sua concentração, as condições meteorológicas e a topografia local.

De acordo com [10] os efeitos nocivos do NO₂ acometem a saúde humana prejudicando os pulmões, provocando doenças que dificultam a respiração, além de afetar o fígado, baço e sangue. No ambiente, o dióxido de azoto contribui para a acidificação e eutrofização dos ecossistemas terrestres e aquáticos, e favorece ainda a formação de ozono, principalmente durante períodos de forte insolação e temperaturas mais elevadas, como no verão [1]. Além disso, a precipitação é associada a uma atmosfera instável, onde a dispersão dos poluentes é favorecida, assim como a sua deposição no solo e outras superfícies, reduzindo a sua concentração no ar [1]. Os problemas em meio urbano manifestam-se na deterioração de construções.

Para que não ocorram efeitos nocivos sobre os seres humanos é necessário que as concentrações de poluentes no ar atendam aos padrões estabelecidos pelo Decreto-Lei n.º 102/2010 que fixa os objetivos da qualidade do ar ambiente tendo em conta as normas, orientações e programas da Organização Mundial da Saúde (OMS) destinados a evitar, prevenir ou reduzir as emissões de poluentes atmosféricos [11]. No caso do NO₂, o limiar de concentração, definido para o período de uma hora, não deve ultrapassar as 200 µg.m⁻³, havendo uma ressalva caso ultrapasse, de que não se pode repetir mais do que dezoito vezes durante um ano civil. Outro limiar estipulado é que não ultrapasse 40 µg.m⁻³ em uma média realizada durante um ano civil. E além disso, caso ocorra a exposição ao NO₂ com valores acima de 400 µg.m⁻³, tendo como base horária 3 horas consecutivas, há o limiar de alerta visando proteção a curto prazo.

Portanto, objetivou-se nesse estudo analisar e comparar as concentrações de NO₂ no concelho de Lisboa no mês de agosto (intensa atividade turística; verão) e no mês de maio (menor atividade turística; primavera), de 2018.

^bMETODOLOGIA

a. Caracterização do local

Lisboa é a cidade mais populosa de Portugal e a capital do país, contando com uma população 2.821.876 habitantes em sua área metropolitana [12]. Segundo a Câmara Municipal de Lisboa [13], em 2017, a região de Lisboa obteve um PIB de 66.521 milhões de euros.

A cidade encontra-se categorizada como clima do tipo mediterrânico, apresentando temperaturas amenas na estação mais quente e seca e maior concentração de chuvas nos meses mais frios [14]. Tendo na estação da primavera temperaturas em torno de 8°C a 26°C e precipitação aproximadamente de 53,6 mm, enquanto no verão a variação média de temperatura fica entre 16°C a 35°C e a ocorrência de chuva é em média de 6,2 mm [15].

b. Delineamento experimental

O estudo foi realizado com base nas informações disponibilizadas pelo website QualAr para o concelho de Lisboa, utilizando 5 estações, como apresentado na Tabela 1. Os dados foram trabalhados na forma de mapa em software de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Concelho	Local	Longitude (graus decimais)	Latitude (graus decimais)
Lisboa	Avenida da Liberdade	-9,146	38,72
Lisboa	Entrecampos	-9,149	38,749
Lisboa	Olivais	-9,108	38,769
Lisboa	Restelo	-9,21	38,705
Lisboa	Santa Cruz de Benfica	-9,203	38,748

De forma a se comparar as diferentes concentrações de NO₂ na atmosfera da região selecionada, escolheram-se os meses de maio e agosto, já que no verão há um aumento de turistas, esperando-se assim o aumento da concentração do poluente em agosto [5]. Dessa forma, com os dados obtidos foi calculada a concentração média de cada mês, assim como a mediana e o desvio padrão para fins de resultados estatísticos.

Para a utilização do software de SIG, ArcGIS, criou-se uma folha de cálculo, unindo dados da tabela 1 com a média de ambos os meses, e, através de técnicas de geoprocessamento, obteve-se a localização de cada estação assim como os valores médios da concentração de NO₂ em cada uma delas. Dessa forma foi possível representar visualmente a exata localização das estações no mapa, enquanto as concentrações médias foram interpoladas pelo método IDW (Ponderação pelo Inverso da Distância) com o objetivo de apresentar uma escala dos níveis de NO₂ em todo o concelho de Lisboa.

Assim, as concentrações médias diárias de NO₂ foram comparadas graficamente com a velocidade dos ventos na região, para o mesmo ano, sendo que os gráficos dos ventos de Lisboa para ambos os meses foram obtidos em [16], da estação Aeroporto Lisboa (LPPT).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Além de apresentarem diferenças na quantidade de turistas, os meses de maio e agosto apresentam diferenças no clima. Maio é um mês de primavera, apresentando temperaturas mais amenas se comparadas ao mês de agosto, período de verão. Algumas diferenças em relação aos fatores que interferem na dispersão de gases na atmosfera existem em relação aos dois períodos. A Fig. 1 apresenta as concentrações de NO₂ no mês de maio de 2018 e a Fig. 2 apresenta as concentrações de NO₂ no mês de agosto de 2018, ambas na forma de mapa obtidas pelo software de SIG. É de se notar que em ambas as figuras, a coloração avermelhada

apresenta maior concentração de NO₂ enquanto os tons esverdeados apresentam menores concentrações de NO₂.

Na Fig. 1 observa-se que a concentração máxima de NO₂ no mês de maio de 2018 foi de 106 µg.m⁻³, enquanto a Fig. 2 apresenta a concentração máxima para agosto de 138 µg.m⁻³. Isso mostra a influência do turismo nesse período observado no concelho de Lisboa, principalmente pelo aumento de tráfego de automóveis, um dos responsáveis pela libertação desse poluente auxiliado pelas características do clima nos diferentes momentos do ano. Além disso, percebe-se nas duas figuras que o local de maior concentração de NO₂ no concelho de Lisboa é próximo à estação Avenida da Liberdade, local de grande tráfego de automóveis e que por resultado apresenta valores altos. De acordo com [1], em 2017, a estação da Avenida da Liberdade registou valores de 151% do valor limite legal, ou seja, os níveis registados naquele ano foram 51% acima do valor limite (neste caso do limite anual).

Dessa forma, nas Fig. 1 e Fig. 2 fica evidente a maior concentração de NO₂ na região da Avenida da Liberdade, onde estão localizados comércios e maior intensidade de tráfego automóvel, além da passagem de pessoas durante o dia, o que pode causar problemas de saúde a longo prazo. De acordo com a legislação vigente, para a proteção da saúde humana, um valor limite horário (VLH) de 200 µg.m⁻³ que não deve ser excedido mais que 18 vezes ao ano e um valor limite anual (VLA) de 40 µg.m⁻³, que devem ser cumpridos desde 2010. Ainda para o NO₂ está definido um limiar de alerta horário de 400 µg.m⁻³ que não pode ser ultrapassado durante três horas consecutivas. Com base nesses valores, [1] relata que na região da Avenida da Liberdade e de Entrecampos ocorreram duas situações de excedência dos valores de VLA no ano de 2017. Ainda de acordo com o autor, em relação às concentrações médias horárias, observaram-se na Avenida da Liberdade mais de 18 valores superiores ao VLH de 200 µg.m⁻³, tendo-se ultrapassado esse valor em 74 horas naquele ano.

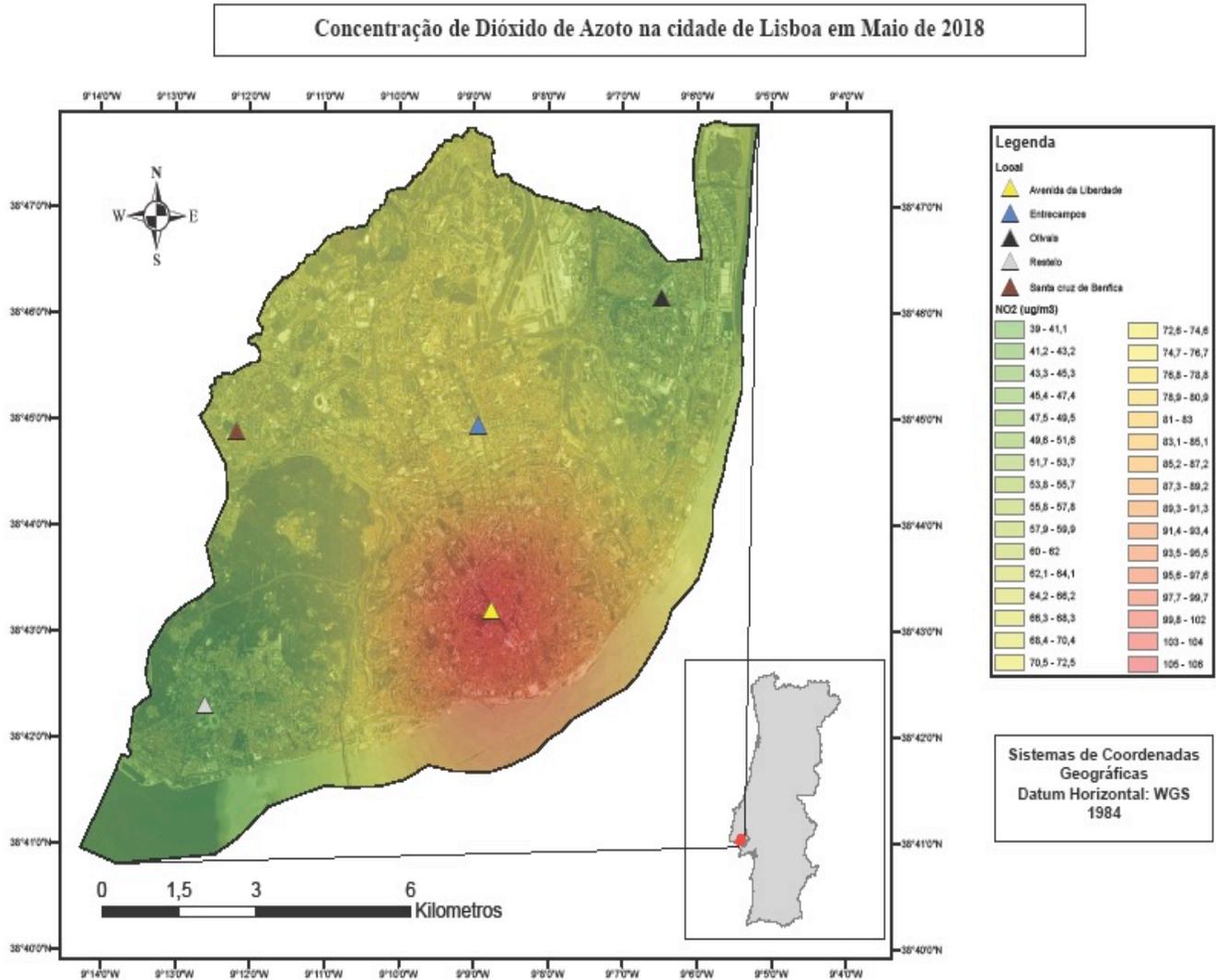


Fig. 1. Padrão espacial da concentração média horária de NO_2 em maio de 2018. A legenda varia entre os valores de $39 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (cor verde) a $106 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (cor vermelha). O triângulo amarelo representa a estação da Avenida da Liberdade, o azul a estação de entrecampos, o preto a de Olivais, o cinza a de Restelo e o triângulo marrom, a estação de Santa Cruz do Benfica.

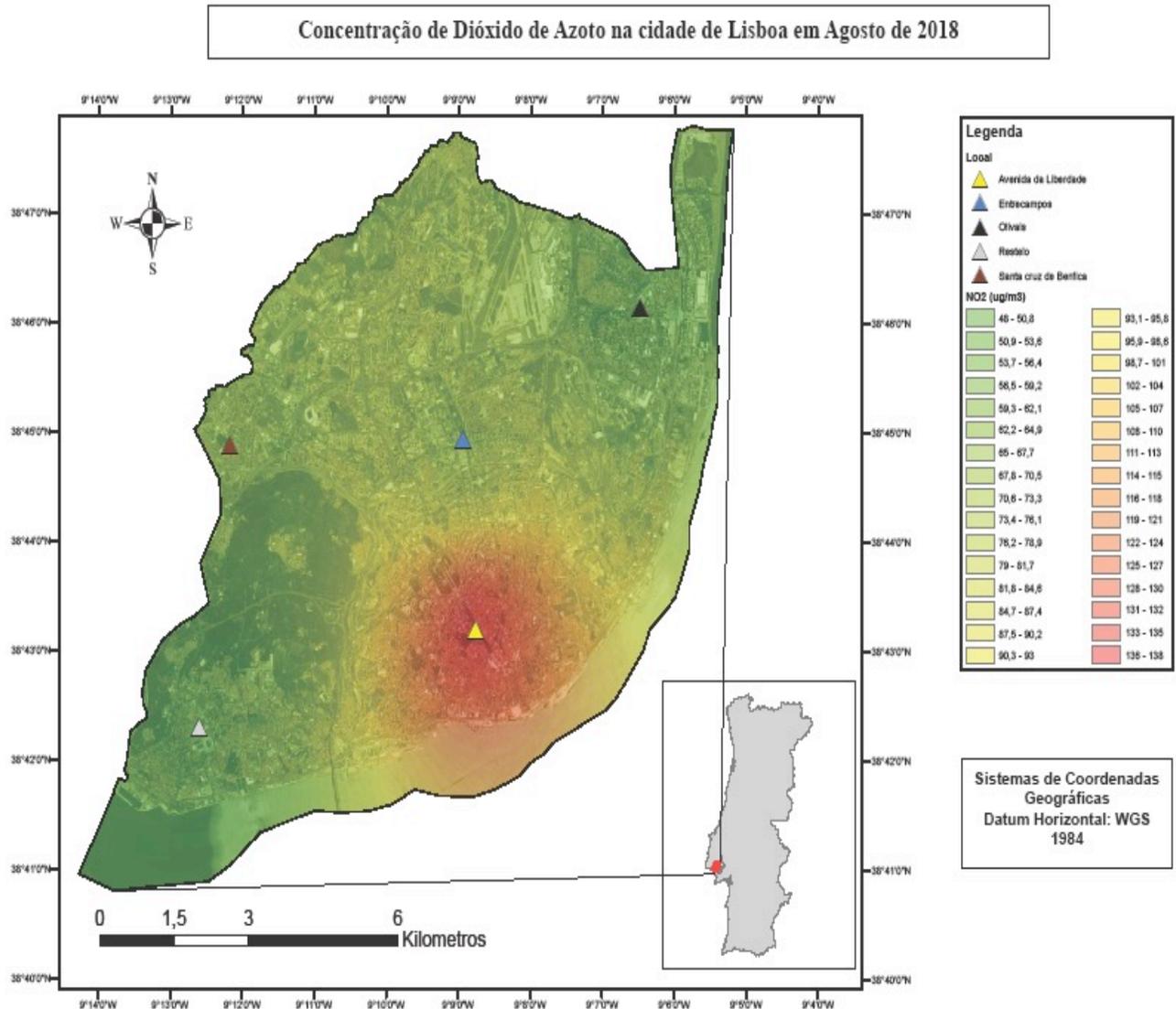


Fig. 2. Padrão espacial da concentração média horária de NO_2 em agosto de 2018. A legenda varia entre os valores de $48 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (cor verde) a $138 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (cor vermelha). O triângulo amarelo representa a estação da Avenda da Liberdade, o azul a estação de entrecampos, o preto a de Olivais, o cinza a de Restelo e o triângulo marrom, a estação de Santa Cruz do Benfica

A Fig. 3 apresenta as concentrações diárias de NO_2 e as velocidades máximas diárias do vento durante o mês de maio de 2018, na qual se observam alguns picos ligeiros de concentração do poluente.

Percebe-se que quando a velocidade do vento é baixa, as concentrações de NO_2 tendem a ficar mais altas. Atendendo no dia 5 de maio, é possível observar as concentrações de NO_2 próximas de $175 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ e no mesmo dia, pode perceber-se que os ventos chegam aproximadamente a $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Nos dias seguintes a velocidade do vento começa a subir e as concentrações de NO_2 a baixarem até próximo de $110 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, quando a velocidade do vento se aproxima dos $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ no dia 10. No dia 15 de maio percebe-se que a concentração do poluente volta a aumentar quando há

uma queda na velocidade do vento, com valores próximos a $175 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ no dia seguinte (16). Outros picos de concentração do gás são visíveis, quando as ventos se tornam mais suaves, porém logo em seguida, como já fora explicado, voltam a cair assim que os ventos voltam a se intensificar.

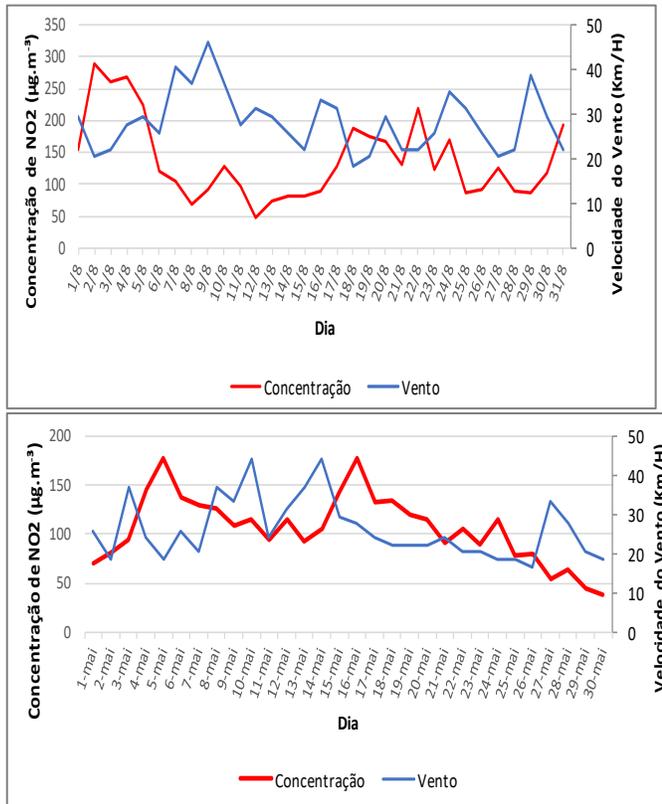


Fig. 3. Variação da concentração diária de NO₂, em maio de 2018, e da velocidade máxima do vento para o mesmo período (Estação Avenida da Liberdade Para Concentração de NO₂ e Estação Aeroporto de Lisboa Para a Velocidade do Vento).

Não foram encontrados dados de velocidade do vento da mesma estação meteorológica que foi utilizada para os dados de concentração de NO₂, as duas estações ficam a 6 km de distância e podem ocorrer algumas pequenas diferenças na velocidade do vento.

A Fig. 4 apresenta a concentração de NO₂ e as velocidades máximas diárias do vento no mês de agosto.

Fig. 4. Variação da concentração diária de NO₂, em agosto de 2018, e da velocidade máxima do vento para o mesmo período (Estação Avenida da Liberdade Para Concentração de NO₂ e Estação Aeroporto de Lisboa Para a Velocidade do Vento).

Pode observar-se que em algumas datas a concentração horária de NO₂ ultrapassou os 200 µg.m⁻³, estabelecido como limiar de concentração para um intervalo de uma hora, no Decreto-Lei 102/2010. Mesmo assim não se pode concluir que descumpra a legislação, pois no Decreto diz que o valor pode ser ultrapassado até 18 vezes durante um ano civil.

A relação da concentração de NO₂ e a velocidade do vento segue os mesmos padrões do mês de maio, quando um pico de concentração é aparente e ocorre um pico de velocidade do vento, as concentrações do gás tendem a cair e posteriormente voltam a se elevar, quando a intensidade dos ventos caem.

Existe o aumento das concentrações de NO₂ no mês de agosto em relação a maio, mesmo com a maior instabilidade atmosférica, visto que a velocidade dos ventos também são maiores no mês de agosto e isso favorece a dissipação do poluente. Já era esperado um aumento da emissão do gás para o mês de verão, e possivelmente a principal causa é o aumento de turistas na cidade, elevando a circulação de veículos em conjunto com as condições climáticas desse período.

A Fig. 5 apresenta dispersão linear da concentração do NO₂ pela velocidade do vento, e a partir desta figura é possível observar que, considerando apenas a ação do vento na dispersão do poluente, percebe-se o comportamento esperado de que quanto maior for a velocidade do vento, menor será concentração do poluente, exemplo visto no mês de agosto. Porém o mesmo não ocorre no mês de maio, o que pode ser explicado pelo fenómeno da inversão térmica.

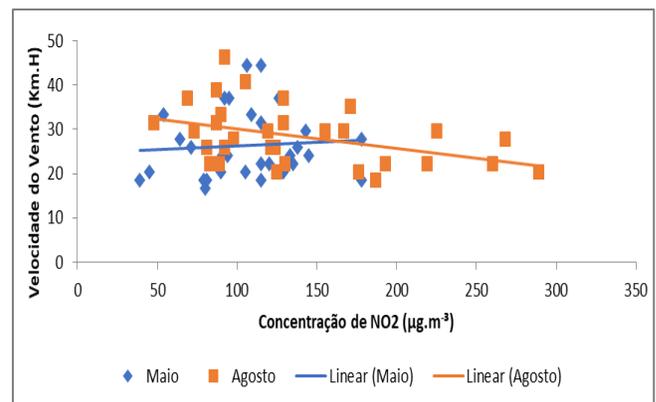


Fig. 5. Dispersão da concentração de NO₂ de acordo com a velocidade do vento.

IV. CONCLUSÕES

O estudo realizado com base em dados de qualidade do ar disponibilizados pela Agência Portuguesa do Ambiente permitiu avaliar o padrão espacial para o concelho de Lisboa em dois períodos distintos – primavera e verão. No mês de verão, agosto, houve aumento na concentração do dióxido de azoto, estando de acordo com a relação entre o aumento de pessoas e de tráfego automóvel na cidade e o aumento da concentração do poluente. Esta relação torna-se muito

clara, quando se observam os contrastes entre as concentrações de NO₂ registadas na Avenida da Liberdade, para os meses de maio e agosto.

A partir dos dados diários de velocidade do vento e concentração de NO₂ foi possível observar que quando os ventos estão soprando mais intensamente, as concentrações tendem a cair, questão também já esperada, visto que a atmosfera instável favorece a dissipação dos gases, mas mesmo com ocorrências de ventos mais fortes no mês de agosto, ainda assim as concentrações alcançaram valores de pico maiores. Dessa forma, percebe-se a importância de legislações e de políticas públicas, a fim de se evitar e reduzir a emissão de gases para a atmosfera, como o NO₂ que além de causar danos ambientais, causa diversos problemas à saúde humana.

Dessa forma, foi possível concluir que com o aumento do fluxo de veículos e pessoas na capital portuguesa, durante o mês de agosto, ocorre um aumento da concentração de NO₂ para toda a cidade. Ademais, a influência do vento exerce um papel de dispersão do poluente, portanto quanto maior for sua velocidade menor será a concentração de NO₂.

REFERÊNCIAS

- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo (CCDR-LVT). Avaliação da Qualidade do Ar Ambiente na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2017. (2018).
- European Environment Agency. Assessment and Management of Urban Air Quality in Europe. EEA Monograph, n. 5. 1998.
- A. S. Grover, M. Wats, A. Wats, A. Grover. Air Pollution and Tourism Management. (2017). International Journal of Environmental Science and Development, vol. 8, n. 4.
- M. R. Alves, V. Moutinho, R. Costa, Change in Energy-Related CO₂ (carbon dioxide) emissions in Portuguese tourism: a decomposition analysis from 2000 to 2008. (2015). Journal of Cleaner Production, 111: 520-528.
- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve (CCDR). Qualidade do Ar na Região do Algarve: Relatório 1º Trimestre de 2015. Rede de Monitorização da Qualidade do Ar do Algarve.
- M. J. Alcoforado, H. Andrade M. J. Vieira Paulo. Weather And Recreation At The Atlantic Shore Near Lisbon, Portugal: A Study On Applied Local Climatology. 2004. P. 38-48.
- H. Andrade, “A Qualidade do Ar Em Lisboa. Valores Médios e Situações Extremas. “ em Finisterra, vol. XXXI, pp. 43-66.
- L. N. Mansal, R. V. Martins, D. D. Parrish, N. A. Krotkov, Scaling Relationship for NO₂ pollution and Urban Population Size: A Satellite Perspective. (2013). Environ. Sci. Technol. 47, 14, 7855-7861.
- REA – Portal do Estado do Ambiente. Ar e Ruído: Poluição Atmosférica por dióxido de azoto. 2018.
- Agência Europeia do Ambiente. Cada vez que respiramos. Copenhagen, 2013.
- Decreto-Lei nº. 102/2010 de 23 de setembro. Diário da República nº. 186/2010, Serie I de 2010-09-23. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- Área Metropolitana de Lisboa (AML) (2019). Disponível em: < <https://www.aml.pt>>.
- Câmara Municipal de Lisboa. (2017). Economia de Lisboa em números.
- M. J. Alcoforado, A. Lopes, H. Andrade, J. Vasconcelos. (2005). Orientações Climáticas para o Ordenamento em Lisboa. Área de Investigação de Geo-Ecologia: Universidade de Lisboa.
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2012). Disponível em: < <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/012/>>.
- Tempo.pt. (2018). Historico do tempo para Lisboa. Disponível em: < <https://www.tempo.pt/lisboa-sactual.htm>>.

Technological Prospecting about the Biomass Use as a Source of Energy from the Bibliometric Analysis of Patents

Bárbara Martins, Daniel Santos, Cristina Souza, Ronney Boloy, Rafael Barbastefano,

Carlos Correa

Bárbara Gato Martins
*PPPRO - Postgraduate
 program in production
 engineering and systems*
 CEFET – Federal Center of
 technological Education
 Rio de Janeiro, Brazil
 barbaragato.06@gmail.com

Daniel de C. L. e Penalva Santos
*IFPE - Federal Institute of
 Education, Science and
 Technology of Pernambuco*
 PhD Student at Postgraduate
 program in production engineering
 and systems
 Recife, Brazil
 daniel.penalva@cabo.ifpe.edu.br

Cristina Gomes de Souza
*PPPRO - Postgraduate
 program in production
 engineering and systems*
 CEFET – Federal Center of
 technological Education
 Rio de Janeiro, Brazil
 crisgsouza@gmail.com

Ronney A. Mancebo Boloy
*PPPRO - Postgraduate
 program in production
 engineering and systems*
 CEFET – Federal Center of
 technological Education
 Rio de Janeiro, Brazil
 ronney.boloy@gmail.com

Rafael Garcia Barbastefano
*PPPRO - Postgraduate
 program in production
 engineering and systems*
 CEFET – Federal Center of
 technological Education
 Rio de Janeiro, Brazil
 rafael.barbastefano@cefet-rj.br

Carlos E.F. Corrêa
*School of Chemistry
 Universidade Federal do Rio de
 Janeiro*
 Rio de Janeiro, Brazil
 carloscorrea.philos@gmail.com

Abstract—Having in mind the present necessity of searching for renewable energy Sources, the technological information that refers to the use of biomass gains academic relevance, market differential completeness and strategic importance in the formulation of public policies. Besides biomass being one of the most important sources of renewable energy, bibliometric studies about its use a little developed. This research project formulated a referral to the patent registration involved in biomass use as renewable energy source so as to demonstrate present scenario and to furnish subsidies for studies in technological prospection for the use of industrial biomass. For the data collection the Derwent Innovation Index base was used through the International Patent Classification field, considering the related codes relevant to biomass energy according to the IPC Green Inventory. The data collected shows that there is a strong tendency in the growing and development of technologies using biomass which the main markets are the five principal patent offices and that the main developers of technology are China, Japan and the United States. Reference is also made to the predominance of biomass patents related to section C - Chemical and Metallurgic. The United States are the ones that transfer the most technologies in the use of biomass, followed by Germany and the United Kingdom, as while China and Japan show low interest in the use of their technologies in other countries.

Keywords—*biomass, green technologies, patents, technological prospecting*

Introduction

The sharp population growth together with the methods of production and large-scale consume have generated much environmental damages, which showed evidenced of a trade between economic growth and environmental preservation [1]. The climatic changes and the scares natural resources are examples of the generated mainly by the production industrial processes, from the raw material to the generation of hazardous waste [2]. A demand for research is then needed, inventions and innovations related to the sustainability necessities therefore generating a new focus in technologies and its applications, related surmise in the search for new energies that, besides being efficient, durable and diversified, need to be sustainable [3] [4] [5].

Due to the various possibilities of green technologies, the use of biomass as a source of energy has a relevant potential of contribution for the source of relevant source of energy and contribution in the long and short term to the world's economy, for besides the environmental contributions it is also related to aspects in the economy, agriculture and rural development [6]. [7] Besides biomass being one of the most important sources of renewable energy, bibliometric studies about its use a little developed [8]. The Bibliometric study of patents furnishes important information for the decision making, whether be in entrepreneurial strategies, public

policies or in the selection of investments [9]. This research Project focuses in filling in this gap by establishing a bibliometric study based on the documents of patent registration that use biomass in the production of energy. The objective is to analyze and identify the relevant information that allows exploring the technological development in the use of biomass, offering a contribution to the studies and technological prospectation about sources of renewable energy.

I. TECHNOLOGICAL PROSPECTION, GREEN TECHNOLOGIES AND PATENTS

The technological information present in the patent documents are important to evaluate changes in the scenario and foresee tendencies prospectation of a certain sector allows the analysis of characteristics, potentialities and the evolution of technological competencies [10]. The search for specific patents allows the specific creation of quantitative indicators of technological development being its use adequate to prospect renewable energy [11].

According to the World Intellectual Property Organization (WIPO) [12], from the patent documents one can collect commercial information technical and legal. The commercial information related to the competitors and the market, these are obtained from the bibliography shown on the face sheet such as name of the deposit, country of origin. The technical information is demonstrated in the descriptive report and in the drawings if there is any. The legal information are obtained by the patents revindication where it is defined in fact what is protected and the reaching of the patent and its lawful statute. One can even identify the political information from a technological analysis of the tendencies of the orders of patents shown in determined sectors related to the public policies.

In order to offer incentives to develop clean technology various countries adopted the model of green patents where the exam of cleaner technologies adopted in various countries is pushing the exam of the orders for patents in the environmental area. The implementation of programs that interrelate systems of intellectual property with the environment is a world tendency [13]. The advantage is the speed of the concession of patents in disposing new technology into the Market and this reduction of time can motivate the competition in developing new technologies equally sustainable acceleration the process of innovation. [14]

II. METHODOLOGY

This research project uses bibliometric analyses of patent documents to investigate the state of technical development in the use of biomass. This methodological choice focused on the practical usage of the patent documents as a source of information, having analyzed documents in the world's most famous patent offices. The bibliometric studies demonstrate being effective methodological instruments for the analysis of patents

mainly in big quantities of information approaches [15] [16] [17].

For the development of the research project in question the Derwent Innovation Index as a base of data for patent orders was used, that is included in the ISI/Web of Knowledge of the Thomson Reuters group. The sampling of data can be acquired through the keyword or by the name of the inventor or by the name of the depositor or by the number of identification or by the IPC [18]. As a search parameter one searches the code of IPC that refer to the technology selected with the aim of obtaining a wider result. The codes of IPC correspond to the "51" field of the patent documents according to the INID numeration Internationally agreed Numbers for the Identification of Bibliographic Data [15]. There for the codes relative to the production of biomass energy were used with the IPC Green Inventory with the following classifications: C10B 53/02 OR C10L 5/40 OR C10L 9/00.

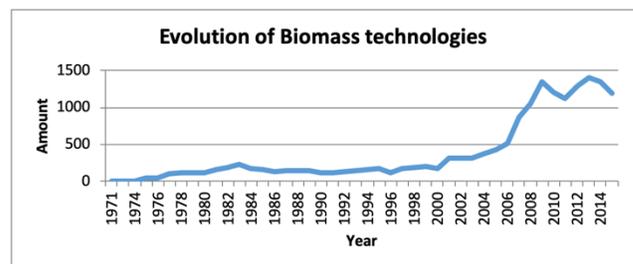
It is important to notice that the technology developed are revealed after a period of secret (18 months after the patents orders). This period of confidentiality can lead a distortion in the analysis in case the same search be done on another date of monitoring, since the documents of patent are not available for a determined period.

III. RESULTS AND DISCUSSION

XIII. A. Evolution of Technologies of Biomass and Main Focus of Interest

For this research project, on the 3rd of October 2016 a sample demonstration was done using the search patterns adopted standards adopted resulting in 7,400 documents of relevant technologies patent registration in the use of biomass. The evolution of these technologies was based in the quantity of patent family registration in the years shown in below.

GRAPH I.



Evolution of the number off patent deposited in the use of biomass.

A growth in the number deposit along the years is observed having been little expressive until the mid-90s but was intensified in the years 2000s and showed its most expressive growth in 2008. Among all Patents registration registered in the analyzed in this research project, 66.26% occurred between 2006 and 2016,

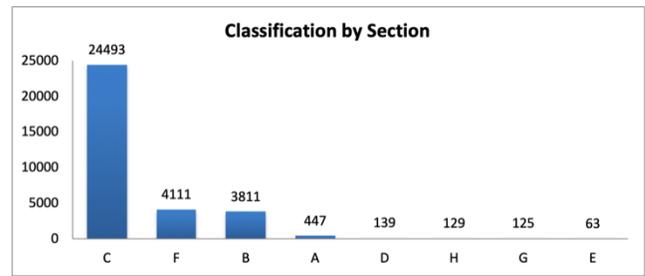
indicating that the technologies of use of biomass are in an evolution developing process.

Nordan [19] described the graph of the initial investment of clean technologies between the years 1995 and 2010, where the focus was the widened of energy technologies, environmental, material and agricultural that refer to “cleantech”. Still according to Nordan [19] this era was divided into four periods, where in each one, the start-up investment in clean technology had a different driver. From 1995 to 1999 (baseline) the clean technology represented a decreasing percentage of the total amount. From 2000 to 2005, had its went a lot in start-up companies. From 2006 on the clean technologies become an important focus area, and the financing of start-up of clean technology went up 50% a year during 2006 and 2008. In 2009, this investment dropped recovering substantially in 2010.

The evolution of the deposit of patents documents is noticed (Graph 1) it coincides with the one described by Nordan [19]. It presents a little expressed number until 2000 and an evolution of technologies of biomass between the years of 2006 and 2008 period in which to investment in clean energy was noticed besides this the numbers show economic crisis effect on registration, in 2009 a fall in the registration of biomass patents is show but that grew in 2011, having a peak in 2013 and slow down again in the following year. The price in the oil barrel also a had its highest peak, varying from US\$ 39 per barrel in 2000 to US\$ 147 per barrel in 2008 [20]. With use of biomass a potential source of energy in substitution to petrol derivatives, of course the variation in the price of the barrel of petrol was an element that directly influenced the growth in the number of patent registration. According to Osawa and Martinez [21], the United Nations and WIPO, from 2009 on the demand to the countries was intensified in the environment and the development of clean technologies therefore some offices of Industrial Properties started the pilot programs of green patents, it started in Australia, Canada, Israel, Japan, Korea, the United Kingdom and the United States, and later in Brazil and China in 2012 [13]. These the initiatives also explain this growth in the number of patent registration of biomass in the world.

In order to identify the main interest focuses the classifications of document according to the codes IPC of the filed patents deposited were used therefore identifying the technological field. Graph 2 informs the quantity of patent registration in each section.

GRAPH II



Technology classification by Section.

It was observed that some patents present more than one classification, so in order to obtain better research result all of them were considered. One can observe the predominance of documents classified in Section C (Chemical; Metallurgy) corresponding to 74%, followed by Section F (Mechanical Engineering; Illumination; Heating; Weapons; Explosion) with 12%. Considering that the main objective for the use of biomass it's the substitution of the fuel fossils, the predominance of patents in section C and part of section B (Operations and Transportation) represent the necessity of process the biomass in order to use it in the existing facilities with less quantities of adaption possible (substitutions like drop-in) [22].

Now withstanding chemical and bio-chemical processes such as gasification, fermentation, hydrolysis and others tend to be the great focus of the developers. As mentioned by Morais [23] he has been enforcing for some years that the researches that contributes most to the environment are in the chemical field of research.

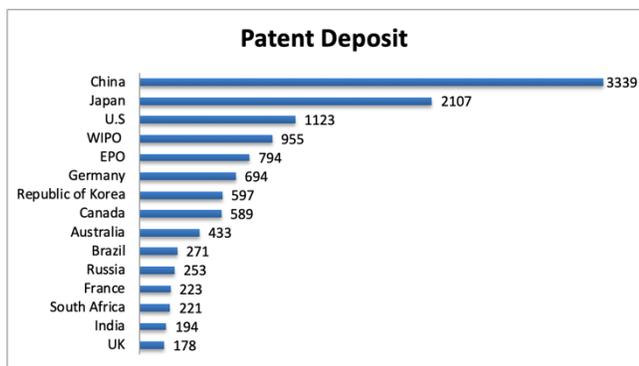
XIV. B. Market Mapping and Origin of the Technologies

The identification of the main markets of interest was based on the countries where patent registration was made. This mapping was done taking the initial letters of the document numbers of the document numbers of patents deposited that correspond to each country code or region. Graph 3 points out the main interest markets of interest in patents for the use of biomass.

The countries identified as the main interest markets in patent for the use of biomass are the five most important offices of patents. With a great difference of the others, the State Intellectual Property Office of the People's Republic of China (SIPO) leads with 3,339 registration, after the Japan Patent Office (JPO), the United States Patent and Trademark Office (USPTO), the World Intellectual Property Organization (WIPO) and the European Patent Office (EPO).

The SIPO is the patent office receives the most orders, even taking into account all technological orders. During 2016, 1.3 million of registration were registered at SIPO, which represents more than the addition of all the registration of the EPO, JPO, USPTO and the Korean Intellectual Property Office (KIPO) all together [24].

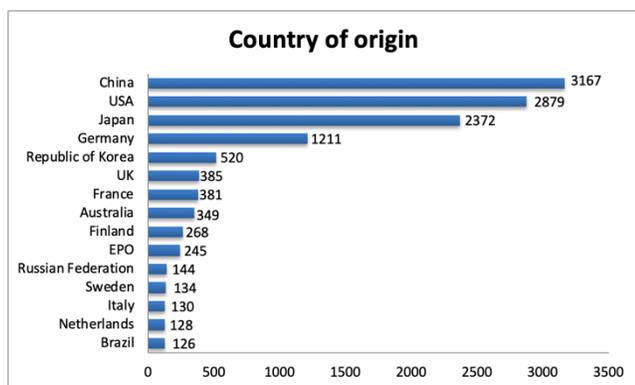
GRAPH III



Main markets of interest

The origin of the technologies was considered as the priority country, where the first deposit of patents happens. Due to the origin countries, or the country, it is possible to evaluate the main developer countries of technology and the capacity to the country in R&D as shown in Figure 4.

GRAPH IV.



Identification of technological origin

The countries that present most registrations priorities were China, the United States and Japan, are the most important developers of technologies for the use of biomass. Liu et al. [8] in his studies contributes with this result when it presents China as one of the most important countries in the generation of patents in the use of biomass.

According to WIPO [24], most of the registration patents are from industrialized countries, having a great relation between the volume of registration and the level of GDP and the investment in P&D. China, Japan and the USA are the most important countries classified in relation to the GDP and P&D. One should notice that these countries also created programs of acceleration in orders of green technologies of industrial property [13].

The fact of China possessing an elevated quantity of registration can be explained for the aggressive measures in the biomass industry in the last few years. The Chinese government has been institutionalizing policies that fosters the fossil fuels substitution and the development of a sustainable policy [25].

XV. C. Transference of Technology

The innovation process involves the transference of technologies for the countries that intend to explore them. Through the patent families it is possible to analyze these transferences and measure the technological development of a country through the relation of the generation of energy and the strategies of protection.

So as to verify the transference of technologies for the use of biomass the families of patents were analyzed so as to identify where the technology took place could of the first deposit and the countries for which they were extended to (countries where protection was demanded). One considered a family of patents the set of orders of patents deposited in different related countries to the same invention through the priority of a specific document.

In the studies it was edified 7,400 documents of patent (or patent families) deposited in the main patent office's world. These families ended a total of 13,399 registrations. This happens because some patent families have more than one code related to it, each patent family unites the related registration to that same technology in different patent offices this means that a same family can group several registrations.

For instance, a patent family presents the following patent codes: US2015152334-A1; IN201303691-I3; BR102014026743-A2, that is a set of patents deposited in different countries related to the same technology. The priority is the origin of the technology, in our case in the example will have US2015152334-A1.

The search for patent families identifies the importance of a technology through patent documents related to the same invention and are published by different countries or offices. Besides this it allows the identification of the origin and the transference of technology and consequently the main markets interest.

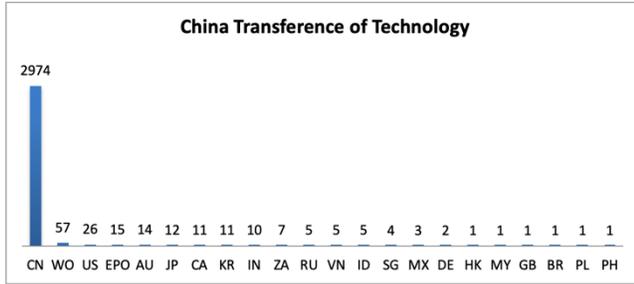
The flow realization FROM-TO was considered the set of patents associated to the same registration being considered only once in each office. It was not considered more than one deposit in the same office corresponding to the same technology associated to the same family. Considering the prior example, the flow in transference of technology (FROM-TO) can be understood as: (FROM) the technology was originated in the United States - (TO) extended to offices in India (IN) and Brazil (BR).

The analysis of the transfers of technologies of the main developers of biomass technologies, China, Japan, and the United States, they are presented in the graphs 5, 6, and 7, respectively.

One can notice in Graph 5 that China although being the main developer of technology for the use of biomass realizes a low technological transference, that is, it presents low demand of technologies protection in other

countries. According to Zucoloto [26] since 2004, the residents respond for the biggest part of the registration in the Chinese office and, in 2009, reached 72.8% of this amount.

GRAPH V.



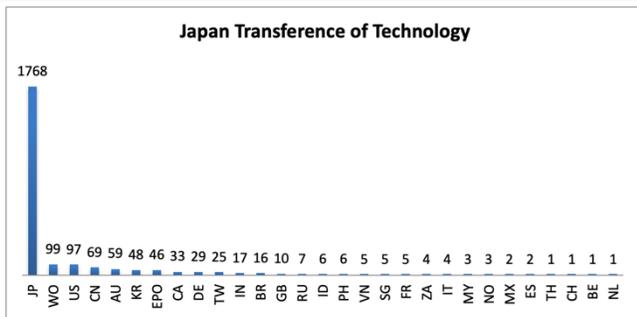
FROM-TO of the Chinese technologies developed

Subtitles: WO - WIPO; US - United States; EPO - European Patent Office; AU - Australia; JP - Japan; CA - Canada; KR - South Korea; IN - India; ZA - South Africa; UK - Russia; VN - Vietnam; ID - Indonesia; SG - Singapore; MX - Mexico; DE - Germany; HK - Hong Kong; MY - Malaysia; GB - United Kingdom; BR - Brazil; PL - Poland and PH – Philippines

Third biggest country on the planet in territorial extension and the most populated, China consumes around 14% of the world's energy being 70% of which from coal, a highly polluting source. Before the Copenhagen Conference in 2009, China declared its voluntary reduction in emission in around 40-45% reduction in CO2 in 2020 in relation to the level of 2005 and reducing the non-fossil energy in the mix of primary energy of 6,8% in 2005 to 15% in 2020 [27] [28]. That is, it's main focus is to achieve its internal targets. That can explain the low level of transference of the technology developed in China to other markets.

Graphic 6 shows that Japan, like China, realizes low technology transference although it demonstrates interesse, nevertheless proportionally small, by the markets of the WIPO and USA graph 6.

GRAPH VI.



FROM-TO of technologies developed in Japan

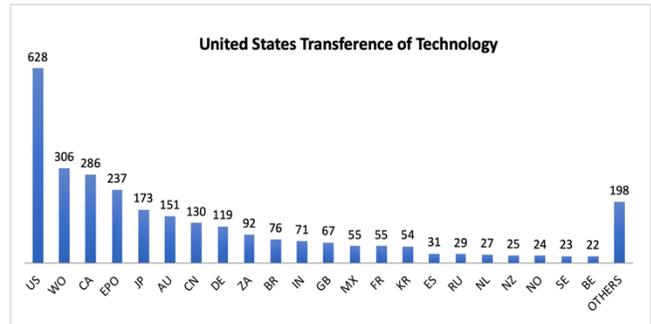
Highly dependent in fossil fuels, since the Kyoto Protocol, Japan has established targets in reducing 6% its CO2 emission in relation to 1990. After the Fukushima accident the country reviewed its strategies of the targets established, until then strongly based in

nuclear energy, stimulating the development in solar panels, wind, geothermic and from biomass.

Since 2014, the Japanese government is making an effort in realizing for the production of woody biomass and biofuel for energy generation [28]. That is, as an example of China, Japan has a clear focus in investing the results of its technological development in renewable energy in the domestic market, which may also issue a technology transfer rate to other markets.

The need for protection of US technologies in other countries is illustrated in graph 7. The country has a good spread of technologies, with the main markets of interest being the World Intellectual Property Organization (WIPO), Canada, and the European Patent Office (EPO).

GRAPH VII.



FROM-TO of technologies developed in the United States

Unlike China and Japan, the United States is concerned with technology transfer to other countries such as Canada and Mexico, its neighbors, South Africa and South Korea, but also to China and Japan, possibly aiming in supporting opportunities that may arise in these countries due to their internal goals as already mentioned.

This technology transfer analysis can be used as a high value patent indicator because it is based on the premise that depositors only seek protection in other countries once they recognize the value of technology. One parameter is whether the deposit is made at the world's three largest patent offices, the United States Patent and Trademark Office (USPTO), the European Patent Office (EPO) and the Japan Patent Office (JPO).

In Table 1 you can analyze the number of deposit made in these offices by the major developers of biomass technologies (China, Japan and the United States).

TABLE I.

	EPO	USPTO	JPO
China	15	26	12
Japan	46	97	1768
EUA	237	628	173

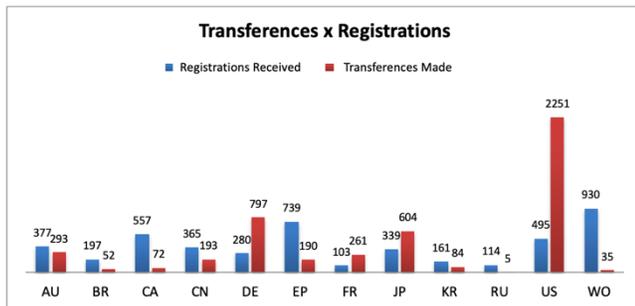
Table 1. Registration at Largest Patent Offices

The EPO analysis offers some advantages as it is a more internationalized basis, while the USPTO and JPO are valid only in American and Japanese territory, respectively. Furthermore, in the analysis of the United States and Japan, potential developers of biomass technology, the EPO functions as a foreign office.

Graph 8 shows the relationship between the amount of technology transferred and registration received by country (the main markets of interest - Graph 3).

One can notice that the countries that transfer technology the most rather than receiving from other countries are the United States (US), Germany (DE) and Japan (JP), due to their high degree of technological development and their high technological participation in other countries, regions. Now China (CN), for geopolitical reasons, receives and transfers little compared to the total of 3339 registration presented.

GRAPH VIII



Balance between transfers and deposits

IV. CONCLUSION

The present scenario of technologies that use biomass to generate energy was developed through research on the evolution of technologies over time, the market mapping, the origin of the technologies, the main focuses of interest and the technology transfer processes.

This research showed a large increase in the search for new technologies for the use of biomass from the year 2000, however most of them in the last 10 years. This phenomenon occurred due to several factors, and among the most relevant are the high price of oil, which makes renewable energy more competitive and the pressure for countries to invest in sustainability. During this period, investments in cleantech increased, especially start-ups, which reflected an increase in the number of green patent registration and concessions, renewable energy related patents and specifically patents that use biomass for power generation.

China, Japan and the United States, highly industrialized countries, with the largest GDPs and also those that invest the most in R&D, stand out as the main developers of biomass technologies. The direct relationship between these indicators and the amount of

registration is clear. Public investments are of great importance in the generation of renewable energy, which is reflected in the development of biomass use technologies.

The predominance of patents related to section C (Chemical and Metallurgical) indicates the field in which most of the developed technologies are found. As the main target use for biomass is the substitution of fossil fuels, its transformation through chemical and biochemical processes such as gasification, fermentation and hydrolysis aims to enable its use with the least possible modifications to existing plants.

Still little explored, but already present, patent applications made in Sections B (Operations and Transportation) and F (Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Explosion) deal with the handling and transport of biomass considering its solid material characteristics that can bring major obstacles in the development of projects with the use of biomass on an industrial scale.

Even for countries that were not leading the technological development of biomass use, it was possible to understand the results obtained from their national and international strategies indicating that the tool can be an excellent support for technological prospection.

To give other aspects to the research, future work can be developed to analyze why some countries, such as Brazil, leader in the use of biomass for energy generation, presents results that are so insignificant in the world scenario of protection of biomass technologies.

REFERENCES

- [1] M. Al Mamun, K. Sohag, M. Shahbaz, and S. Hammoudeh, "Financial markets, innovations and cleaner energy production in OECD countries," *Energy Econ.*, vol. 72, pp. 236–254, 2018.
- [2] F. Suleman and I. Dincer, "ScienceDirect Environmental impact assessment and comparison of some hydrogen production options," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 40, no. 21, pp. 6976–6987, 2015.
- [3] O. Ellabban, H. Abu-Rub, and F. Blaabjerg, "Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 39, pp. 748–764, 2014.
- [4] N. Šahović and P. P. Da Silva, "Community Renewable Energy - Research Perspectives - Research P," *Energy Procedia*, vol. 106, pp. 46–58, 2016.
- [5] I. and W. Cornell University, "Global Innovation Index: Energizing the World with Innovation," 2018.
- [6] O. Edenhofer *et al.*, "On the economics of renewable energy sources," *Energy Econ.*, vol. 40, pp. S12–S23, 2013.
- [7] G. Koçar and N. Civaş, "An overview of biofuels from energy crops: Current status and future prospects," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 28, pp. 900–916, 2013.

- [8] W. Liu *et al.*, “Profile of developments in biomass-based bioenergy research: A 20-year perspective,” *Scientometrics*, vol. 99, no. 2, pp. 507–521, 2013.
- [9] Y. Tseng, C. Lin, and Y. Lin, “Text mining techniques for patent analysis,” vol. 43, pp. 1216–1247, 2007.
- [10] A. Abbas, L. Zhang, and S. U. Khan, “A literature review on the state-of-the-art in patent analysis,” *World Pat. Inf.*, vol. 37, pp. 3–13, 2014.
- [11] D. Kim, N. Kim, and W. Kim, “The effect of patent protection on firms’ market value: The case of the renewable energy sector,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. January 2017, pp. 4309–4319, 2018.
- [12] WIPO, “WIPO Guide to Using Patent Information,” pp. 1–44, 2015.
- [13] Patrícia Silva Ferreira; Cecília Hasner; Douglas Santos, “O Potencial e o perfil das Patentes Verdes em Conservação e Renovação de energia no Brasil,” *Cad. Prospecção*, vol. 9, no. 1, pp. 111–120, 2016.
- [14] F. A. Richter, “As Patentes Verdes E O Desenvolvimento Sustentável,” *Rev. Meio Ambient. e Sustentabilidade*, vol. 6, pp. 383–398, 2014.
- [15] I. Zupic and T. Čater, “Bibliometric Methods in Management and Organization,” *Organ. Res. Methods*, vol. 18, no. 3, pp. 429–472, Jul. 2015.
- [16] T. U. Daim, G. Rueda, H. Martin, and P. Gerdri, “Forecasting emerging technologies : Use of bibliometrics and patent analysis,” vol. 73, pp. 981–1012, 2006.
- [17] T. Sinigaglia, T. Evaldo, F. Kreimeier, M. Eduardo, and S. Martins, “Use of patents as a tool to map the technological development involving the hydrogen economy,” *World Pat. Inf.*, vol. 56, no. September 2018, pp. 1–8, 2019.
- [18] WIPO, “Guide to the International Patent Classification,” 2018.
- [19] M. Nordan, “The state of cleantech venture capital,” *Part 1: the Money*, 2011. [Online]. Available: <https://gigaom.com/2011/11/28/the-state-of-cleantech-venture-capital-part-1-the-money/>. [Accessed: 13-Nov-2016].
- [20] B. Wingfield, “Oil Prices,” *Bloomberg*, 2017. [Online]. Available: <https://www.bloomberg.com/quicktake/oil-prices>. [Accessed: 10-Jul-2019].
- [21] P. Reis, C. Osawa, M. Martinez, J. C. Moreira, and D. Santos, “Programa das Patentes Verdes no Brasil : Aliança Verde entre o Desenvolvimento Tecnológico , Crescimento Econômico e a Degradação Ambiental,” in *XV Congresso de Gestão de Tecnologia Latino-iberoamericano - ALTEC*, 2013, pp. 1–17.
- [22] F. D. A. Oroski, F. C. Alves, and V. Bomtempo, “Practitioner ’ s Section Bioplastics Tipping Point: drop-in or non-drop-in?,” *J. Bus. Chem.*, vol. 11, no. 1, pp. 43–50, 2014.
- [23] M. Morais, “Prospecção Tecnológica Em Documentos De Patentes Verdes,” 2014.
- [24] WIPO, *World Intellectual Property Indicators*. World Intellectual Property Organization - WIPO, 2017.
- [25] L. Dai, Yixin ; Xue, “China’s policy initiatives for the development of wind energy technology,” *Clim. Policy [1469-3062]*, vol. 15, no. 1, pp. 30–58, 2015.
- [26] G. F. Zucoloto, “Panorama Do Patenteamento Brasileiro,” *Radar Tecnol. produção e comércio exterior.*, vol. 16, pp. 37–46, 2011.
- [27] H. Jiankun, Y. Zhiwei, and Z. Da, “China ’ s strategy for energy development and climate change mitigation,” *Energy Policy*, vol. 51, no. 2012, pp. 7–13, 2015.
- [28] S. Kang, S. Seloese, and N. Maizi, “Strategy of bioenergy development in the largest energy consumers of Asia (China, India, Japan and South Korea),” *Energy Strateg. Rev.*, vol. 8, pp. 56–65, Jul. 2015.

La Influencia de la Responsabilidad Social Gubernamental y la Legitimidad en la Imagen del gobierno Municipal. Un caso de estudio desde la perspectiva del ciudadano de Valle de Santiago, Guanajuato, México

Jessica Quiroz-García

Universidad de Guanajuato, México

Jessica_quiroz@outlook.es

Martha Ríos-Manríquez

Universidad de Guanajuato, México

mrm2018mx@gmail.com

María Dolores Sánchez-Fernández

Universidad de la Coruña, España

maria.msflores@gmail.com

Resumen

La literatura científica revela que las acciones de responsabilidad social benefician la imagen de cualquier empresa, sin embargo, las investigaciones centran su atención en empresas privadas debido al impacto de las mismas dejando de lado el sector público. Por tal motivo, el presente estudio tuvo como objetivo analizar la Influencia de la Responsabilidad Social Gubernamental y la Legitimidad en la Imagen del gobierno Municipal de Valle de Santiago, Guanajuato, México, desde la perspectiva del ciudadano. Se realizó un cuestionario a 100 personas de entre 18 y 34 años pertenecientes al municipio. En estudio los datos se analizaron mediante un análisis descriptivo, correlacional y se utilizó la técnica estadística de la Regresión Lineal bajo el método de mínimos cuadrados ordinarios. Los resultados revelan que los habitantes del municipio independientemente de si es originario o no de Valle de Santiago, tienen una percepción negativa de la Responsabilidad Social del gobierno municipal otorgando mayor importancia a la Legitimidad, otro resultado importante es que la Imagen del Gobierno Municipal tienen una asociación positiva y significativa con la Responsabilidad social del municipio y la legitimidad otorgada por los Stakeholders. En cuanto al modelo de regresión lineal propuesto, se determina que existe suficiente evidencia empírica de la influencia de la responsabilidad social y la legitimidad en la Imagen del Gobierno Municipal de Valle de Santiago. Por tanto, se sugiere que los tomadores de decisiones dentro del gobierno, así como los grupos de interés deben incluir dentro de sus estrategias gubernamentales, prácticas estratégicas de responsabilidad social y legitimidad para así mejorar su imagen y contribuir con una mejor sociedad.

Palabras clave: Responsabilidad Social Gubernamental, Legitimidad, Imagen del gobierno municipal, ciudadano, México.

Introducción

La Responsabilidad Social (RS) siendo un compromiso, obligación y deber de contribuir voluntariamente para una sociedad más justa e integradora, así como de proteger el medio ambiente que poseen los individuos. La RS se ha inclinado desde sus orígenes hacia el ámbito empresarial, debido a que estas unidades de negocio representan el actor social con mayor peso, por ser un motor económico con la capacidad de ofrecer fuentes de trabajo, producir bienes/servicios y generar riqueza en donde se desenvuelven (Navarro-Galera A. , Ruiz-Lozano, De los Rios-Berjillos, y Tirado-Valencia, 2014).

Sin embargo, otros actores se abren paso en el tema de RS, tal es el caso del sector público, por el compromiso que tienen con la prosperidad de las ciudades y sus ciudadanos (Navarro-Galera A. , Ruiz-Lozano, De los Rios-Berjillos, y Tirado-Valencia, 2014). En el caso del sector público, específicamente el gobierno, el comportamiento responsable no debe limitarse a la racionalidad económica, puesto que por su naturaleza debería poseer un carácter responsable con su entidad (Guillamón, Ríos, y Vicente, 2011).

Puesto que, la sociedad espera que el gobierno se comporte de forma sostenible, eficiente y especialmente transparente (Canyelles, 2011) y es el, quien con su ejemplo debe promover que la legitimidad sea otorgada por sus Stakholders a la sociedad (Lima, Da Silva, y De Abreu, 2016). Más allá de las obligaciones normativas, el asumir la RS como un elemento representativo por parte de los gobiernos y administraciones públicas añadirá valor a su desempeño económico, social y ambiental, trayendo como consecuencia una mejor imagen de su gobierno municipal (Villecillo y Gutiérrez, 2016).

Aún cuando se tiene presente que la RS se convierte en una ventaja competitiva por el hecho de fortalecer la construcción de un futuro que integra la sostenibilidad colectiva: económica, social y ambiental, la implementación del tema en el sector gubernamental todavía debe recorrer un largo camino, ya que son pocas las administraciones públicas consientes de la importancia social que conlleva la ejecución y divulgación de políticas responsables y sostenibles entre sus grupos públicos de interés (Cueto, 2014).

Por lo que es importante investigar sobre la Responsabilidad Social Gubernamental (RSG), La Legitimidad otorgada por los Stakholders y la Imagen del Gobierno Municipal, debido a que es desde los organismos públicos y las administraciones gubernamentales donde se logra promover y regular prácticas de RS hacia el resto de la sociedad, misma que integra el sector privado y tercer sector (sociedad civil y organizaciones no gubernamentales) (Navarro y Hernández, 2014).

En México, el gobierno por su parte, cuenta con regulaciones que promueven la RS dentro de la gubernatura, empleando leyes tales como la Ley General de Desarrollo Social (LGDS) que establece como derechos sociales la educación, salud, vivienda, alimentación, trabajo, un medio ambiente sano, seguridad social y la no discriminación en la Constitución Política Mexicana (Verdiales, 2018). Además, el país forma parte de la Alianza del Gobierno Abierto (AGA), organismo que promueve internacionalmente los principios de transparencia, participación y colaboración integra (Figueras, 2019).

Sin embargo, la realidad es que existen problemas de confianza por parte de la ciudadanía, tanto en la transparencia como en la credibilidad hacia sus gobernantes (Aguilar, 2013), debido a la situación de inseguridad, corrupción y mala gestión por parte de los mismos, que consecuentemente se traduce en una imagen negativa del gobierno (Mendoza, León, y Lizárraga, 2019).

En este contexto, es primordial analizar como a partir de la RSG y la Legitimidad otorgada por los Stakeholders se puede impactar en la imagen que perciben los ciudadanos de su gobierno y con ello mejorar la relación gobierno-ciudadanía. Cabe resaltar que los gobiernos municipales son los que mantienen una relación más estrecha con su pueblo, debido a que la extensión territorial, funciones y alcances son menores.

México, esta organizado territorialmente por 31 estados y la Ciudad de México que es la capital de la república mexicana, y estos a su vez se dividen en Municipios. El estado de Guanajuato, se ubica en el centro del país, y es considerado actualmente como uno de los estados más importantes por su aportación al Producto Interno Bruto y su impacto en el crecimiento del país, por ser un importante corredor industrial, formador e incremento de empleos, inversiones extranjeras y fomento de marcas ciudad. Pero también mantiene índices de inseguridad, violencia y presencia de grupos criminales que agudiza la mala percepción que tienen los ciudadanos con su gobierno de acuerdo a la Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad Pública (ENVIPE) (2018).

Son 46 municipios los que conforman el estado, dentro de los cuales se encuentra Valle de Santiago, quien actualmente es llamado en municipio de las siete luminarias, a causa de que tiene siete cráteres de volcanes, que son un atractivo turístico de la zona.

Y aunque el gobierno está obligado a mostrar un mayor nivel de compromiso ante la sociedad, en términos de transparencia, sostenibilidad y responsabilidad social, a causa de los recursos públicos de los que hace uso, la implementación de este compromiso es escasa y rara vez notable por la ciudadanía (García-Sánchez, Frías-Aceituno, y Rodríguez-Domínguez, 2013).

Por lo anterior, es importante investigar la RSG, tema que está emergiendo en la literatura y son pocos los estudios que abordan el tema en conjunto con la legitimidad otorgada por sus Stakeholders y la imagen del gobierno. Por tanto esta investigación tiene por objetivo analizar la Influencia de la Responsabilidad Social Gubernamental y la Legitimidad en la Imagen del gobierno Municipal de Valle de Santiago, Guanajuato, México, desde la perspectiva del ciudadano.

I. Marco Teórico

Día con día, organismos internacionales, así como diversos Stakeholders, están demandando a los gobiernos locales reformas dirigidas a lograr prácticas de transparencia y rendición de cuentas, así como acciones sociables responsables y sostenibles (Alcaraz, 2013). En este sentido gobiernos locales son quienes pueden lograr que sus entidades crezcan alineadas con al estado, mostrando ejemplo y voluntad, así como la capacidad de servir a los ciudadanos (Lima, Da Silva, y De Abreu, 2016).

Ante esta situación el gobierno ha comenzado a informarse sobre cuestiones relativas al comportamiento económico, social y medioambiental que se requiere y se exige por parte de la sociedad, comenzando por mecanismos de transparencia administrativa (Nevado-Gil y Gallardo-Vázquez, 2016).

Responsabilidad Social Gubernamental

Los cambios en el entorno hacen necesario adherir la transversalidad en la implementación de políticas públicas a partir de un modelo de RS que tome en consideración nuevas demandas y éstas sean ejes importantes en los procesos de gestión pública (Zenck, Ríos, Pogo, y Cueto, 2017). La RSG es entendida como la capacidad de respuesta que poseen las organizaciones gubernamentales respecto de los efectos de sus acciones en los diferentes grupos con los que se relaciona (Vélez-Romero y Cano-Lara, 2016).

Comprende no solo los logros, sino que abarca la satisfacción de las demandas de los grupos de interés, focalizando y dirigiendo sus esfuerzos de una manera más organizada, eficiente y oportuna (Zenck, Ríos, Pogo, y Cueto, 2017). También se le denomina RSG al comportamiento público responsable que fortalece una política responsable, así como el ejercicio de la administración pública que se alinea con las demandas de sus grupos de interés (Cueto, 2014).

La Responsabilidad social dentro de un determinado territorio permite mejorar las acciones hacia sus grupos de interés a mediano y largo plazo, permite construir y posicionar una imagen positiva, y afirma su compromiso con acciones tangibles de mejora del entorno (Guzmán, Amaya, Salazar, y Ramirez, 2018).

Legitimidad otorgada por parte de los stakeholders

El gobierno debe considerar prácticas y actividades que sean aceptadas por la sociedad en general y sus grupos de interés deben asegurarse que las actividades del gobierno vayan de acuerdo a los objetivos, normas y valores dentro de la sociedad donde se desenvuelven, para evitar el incumplimiento de un acuerdo implícito de legitimidad (Lima, Da Silva, y De Abreu, 2016). Estos grupos de interés cuando son fortalecidos por el gobierno en materia de responsabilidad social, legitiman y fortalecen la confianza en el poder público, puesto que se desarrolla cierta responsabilidad ética desde lo público hasta lo privado frente a la sociedad y en conjunto con ella (Arnaldo, 2014).

Por tanto, si el gobierno hace hincapié a los grupos de interés sobre el considerar que la pobreza, cambio climático, educación, globalización, inclusión, entre otros temas, son responsabilidad no solo del gobierno, sino de toda la sociedad (Arnaldo, 2014), cambiaría la reputación o imagen del gobierno y en consecuencia, la imagen de los grupos de interés (Macri, 2014), sea de gobiernos federales, estatales o municipales.

Imagen del Gobierno Municipal

Aunque la imagen del término gobierno se encuentra degradado, al decir “gobierno”, se genera un panorama donde varios actores públicos participan para regular y dirigir las políticas y leyes públicas dentro de un territorio en cooperación con la sociedad y otros actores gubernamentales en red, mismos que se caracterizan por la interdependencia, la autorregulación, la interacción continua y el cierto grado de autonomía respecto al estado (Rhodes, 2011; Peeters, 2013).

Sin embargo, en la actualidad por la situación de inseguridad y corrupción que rodea las administraciones públicas, el gobierno tiene una imagen negativa y es visto como un actor que no siempre funciona para prevenir los problemas de crimen social y bienestar de la ciudadanía, sino por el contrario contribuye (Peeters, 2013) a dejar pasar situaciones que afectan a la ciudadanía, las cuales demeritan la imagen de su municipio, estado o gobierno federal.

La imagen del gobierno dependerá de quien observe, puesto que es diferente la percepción para los ciudadanos o grupos internos y externos a este organismo (Cerdá, 2017). Por tanto uno de los aspectos que ayuda a crear o reforzar la imagen positiva de cualquier empresa o institución es la Responsabilidad social (Aizpitarte, 2018), misma que fomenta la confianza de los grupos interés de la institución (ResponSable, 2013) pública como los gobiernos.

En la literatura fue posible encontrar estudios sobre la Imagen de los gobiernos, como la investigación de Pongpiachan (2018), dirigida a 400 jefes de hogar de 68 comunidades y 30 entrevistas a profundidad a

personal de un organismo público de Tailandia, encontró que la imagen de los organismos públicos depende del ángulo desde donde se encuentre la persona, debido a que la percepción de los empleados del organismo público difiere de los ciudadanos en general. Por su parte los ciudadanos perciben al organismo con una imagen negativa por no preocuparse por la calidad de vida y dicen no estar satisfechos, en cambio, los empleados son más conscientes de las necesidades y debilidades del organismo y se muestran conscientes de que no solo es culpa de él.

Mientras que Gómez (2014), en su estudio con 192 empleados, 8 jefes de dependencias públicas, 32 presidentes de consejos comunitarios del desarrollo de áreas urbanas y el alcalde de Huehuetenango, señala que los empleados municipales tienen una imagen del gobierno realista, pues están conscientes de la falta de normas para garantizar la seguridad laboral, estudios de clima laboral, información sobre su medio ambiente, desarrollo de proyectos de responsabilidad social y exigencia de proveedores que aporten productos de bajo impacto ambiental.

Por su parte, Robles (2016), en su estudio sobre la Alcaldía de Tunja, Colombia a 13 secretarías, 77 personas y el presidente de Juntas de Acción Comunal, se analizó la satisfacción de los habitantes con respecto al compromiso social que promovía la Alcaldía. Se encontró que las secretarías consideraban que falta generar información oportuna para todos los actores sociales, con el propósito de garantizar una imagen de confianza. Por otro lado, existe inconformidad por parte de los habitantes respecto a la falta de proyectos de responsabilidad social, además de presentar un desconocimiento de los existentes. Lo cual genera una imagen negativa de la Alcaldía en términos de responsabilidad social en los habitantes.

II. Metodología

En este trabajo de investigación se planteó la siguiente Hipótesis sostenida en base a la literatura sobre la imagen del Gobierno Municipal:

H₁: La Responsabilidad Social Gubernamental y la Legitimidad otorgada por los Stakeholders influye positivamente en la Imagen del Gobierno Municipal de Valle de Santiago, Guanajuato.

En base a la literatura se presenta la ecuación 1,

$$IGM_i = \beta_0 + \beta_1 RSG_i + \beta_2 LEG_i + \varepsilon_i$$

Donde:

RSG_i= Responsabilidad Social Gubernamental

LEG_i= Legitimidad

IGM_i= Imagen del Gobierno Municipal

El objetivo general de esta investigación fue analizar la Influencia de la Responsabilidad Social Gubernamental y la Legitimidad en la Imagen del gobierno Municipal de Valle de Santiago, Guanajuato, México, desde la perspectiva del ciudadano. Considerando el instrumento de Ríos -Manríquez y Sánchez-Fernández (2019), del cual se utilizaron las dimensiones de Imagen Gubernamental, Responsabilidad Social Gubernamental y Legitimidad. Sobre el cual se realizó la operacionalización de las variables observadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Operacionalización de variables.

Variable	Indicadores	Código	Definición	Referencia teórica
Responsabilidad Social Gubernamental	Transparencia	TRP	Principio de responsabilidad con la sociedad que busca ofrecer información real y oportuna sobre el actuar de la organización, así como acceso a los ciudadanos a dicha información.	(Molina, Martínez, y Zazueta, 2015; PGJE, 2014; Di Iorio, y otros, 2019; Gilli, 2017)
	Programas sociales	PS	Intervenciones por parte del gobierno que buscan traer beneficios, resolver alguna problemática social en diversos sectores de la población.	(Rodríguez, 2019; Melania, 2019; Cortés y Zárate, 2019; Vilma y Carla, 2018)
	Limpieza del municipio	LM	Mantenimiento de lugares públicos, recolección de diversos residuos, suciedad y basura por parte del gobierno.	(Gueyara, Marruffo, y Rattia, 2019; Salazar-Rodríguez y Hernández-Diego, 2019; Villalta, 2019; Salazar, 2019)
	Actuar conforme a la ley	Ley	Cumplimiento de normas, leyes y reglas establecidas por la sociedad en cierto lugar.	(Villoria y Izquierdo, 2015; Soriano, 2014; DNP, 2016; Orrego, 2014; Brower, 2015)
Legitimidad	Stakeholders Internos	SInt	Grupos de personas dentro de una organización que tiene objetivos propios, y para el cumplimiento de los mismos se vincula con la	(Severino-González, Pujol-Cols, y Lazzaro.Salazar, 2019; Zenker y

			actuación de esa organización, como empleados, accionistas y directivos.	Petersen, 2014; Zenker y Beckmann, 2013; Cerdá, 2017)
	Stakeholders Externos	CExt	Grupos de personas fuera de una organización que tiene objetivos propios, y para el cumplimiento de los mismos se vincula con la actuación de esa organización, como clientes, proveedores, comunidad, etc.	(Severino-González, Pujol-Cols, y Salazar, 2019; Jerez, Palacios, y Castro, 2018; Zenker y Beckmann, 2013; Aizpitarte, 2018;)
Imagen Gubernamental	Buenos servicios e infraestructuras	BSI	Satisfacción de las necesidades de los ciudadanos respecto a los servicios e infraestructura del gobierno.	(Melania, 2019; Orrego, 2014; Villoria y Izquierdo, 2015; Verdugo y Schalock, 2013)
	Seguridad	SEG	Mantener y salvaguardar el bienestar de los ciudadanos de una población	(Weber, 2017; Rodríguez, Quintanar, y Vargas, 2017; Dávalos, Hernández, y Pulido, 2017; Alvizar y Guénola, 2015; Agudo, 2016)
	Eficiencia	EFIC	Hacer buenas finanzas públicas, políticas fiscales, legislaciones sociales y resolución de problemas en la sociedad.	(Salazar-Rodríguez y Hernández-Diego, 2019; Capello y García, 2015; Béjar y Bárcena, 2016; Dextre, 2016; D'Alessio y Álvares, 2016; Rodríguez, 2017)

Fuente: Elaboración propia con base en la literatura y al instrumento de Ríos-Manríquez y Sánchez-Fernández, 2019.

La recolección de datos

La variable de RSG, estuvo formada por 20 ítems, la variable Imagen Gubernamental con 22 ítems y la variable de Legitimidad con 9 ítems, todas ellas con una escala tipo Likert de 1 a 5 puntos, donde 1 se refiere el total desacuerdo y 5 el total acuerdo.

A causa de que se deseaba recabar un cuestionario que midiera la percepción, así como, de que la proximidad fue limitada se llevó a cabo un muestreo sistemático por cuotas (Hernández, 2014). Como se observa en la Tabla 2, el estudio es de tipo descriptivo y correlacional, con un enfoque cuantitativo, un diseño no experimental y corte transversal, a través de una regresión lineal mediante el software IBM SPSS. Participaron 100 personas pertenecientes al municipio de Valle de Santiago, Guanajuato.

Tabla 2. Cuadro Resumen de Metodología seguida.

Método de levantamiento	Cara a cara
Periodo de levantamiento	Julio de 2019.
Sujetos de estudio	Personas que vivan en el municipio de Valle de Santiago, Guanajuato.
Tamaño de muestra (Piloteo)	100 personas que habitan en el municipio de Valle de Santiago, Guanajuato..
Selección de muestra	Sistemático por cuotas.
Técnicas de análisis estadístico	Descriptivo, correlacional y regresión lineal
Instrumento	Elaborado por Ríos-Manríquez y Sánchez-Fernández (2019).

Fuente: Elaboración propia.

Muestra

La elección de la muestra en el ámbito local o municipal, se derivan de la justificación del estudio: a) Cercanía de los grupos de interés y el gobierno y b) Mayor sensibilidad del gobierno local ante el impacto de los servicios que ofrece.

De acuerdo con Kloter y Armstrong (2017), una muestra puede tener varias segmentaciones que hacen que esta esté integrada de diferentes cualidades sociodemográficas, aun perteneciendo a un mismo lugar. El total de encuestados fue de 100 personas, donde el 47% fueron hombres, donde el 17% tenía de 18 a 24 años y el 30% de 25 a 34 años; el 53% restante corresponde a las mujeres, donde el 18% tenía de 18 a 24 años y el 35% de 25 a 34 años (ver Tabla 3).

Tabla 3. Muestra por género y edad del ciudadano de Valle de Santiago, Guanajuato

Edad	Género del ciudadano de Villagrán Guanajuato		Total
	Masculino	Femenino	
18-24	16.2%	18.2%	34.3%
25-34	30.3%	35.4%	65.7%
Total	46.5%	53.5%	100.0%

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos.

Fiabilidad del instrumento

El instrumento fue validado por su contenido, por las autoras Ríos-Manríquez y Sánchez-Fernández (2019), permitiendo tener una validez temática. A fin de demostrar la fiabilidad de las escalas, se utilizó el Alpha de Cronbach (Cronbach, 1951), obteniendo valores superiores al 0.7 sugerido por Nunnally y Bernstein (1994), como se muestra en la Tabla 4. Esto confirma que el cuestionario utilizado tiene consistencia interna.

Tabla 4. Fiabilidad del instrumento

Alfa de Cronbach	N de elementos
0.967	52

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos.

III. Análisis de los Resultados

Descriptivos

El análisis de los resultados se realizó mediante las medias y desviación estándar de los diferentes constructos. En la Tabla 5 se muestra que hay una mala percepción por parte de los ciudadanos hacia la Responsabilidad Social Gubernamental, Legitimidad otorgada por los stakeholders e Imagen Gubernamental, lo cual indica que no se están notando prácticas de responsabilidad social por parte del municipio.

Tabla 5. Estadísticos Descriptivos

Dimensión	Media	Desv. típ.
RSM	2,4875	,77712
Legitimidad	2,9922	,73095
Imagen del gobierno Municipal	2,6650	,74012

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos.

En la tabla 6, se observa que el 58% de los encuestados son originarios del municipio de Valle de Santiago, mismos que evalúan negativamente la RSG y la Imagen Gubernamental que posee el mismo, sin embargo, se muestran en una posición casi neutral respecto a la variable de la Legitimidad otorgada por sus Stakeholders. Por su parte los encuestados que no son originarios del municipio, quienes representaban el

42%, evaluaron negativamente la RSG y se mostraron casi neutrales respecto a la Legitimidad otorgada por los Stakeholders y la Imagen Gubernamental

Tabla 6. Percepción de las personas originarias y no originarias del municipio.

Originario del municipio	Personas (%)	RSG	Legitimidad	Imagen Gubernamental
Si	58	2.4262	2.8908	2.5549
No	42	2.5583	3.1323	2.8171
Total	100	2.4875	2.9922	2.6650

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos.

Las personas originarias del municipio están en desacuerdo que su gobierno se preocupa por mejorar la calidad de vida, crear oportunidades de trabajo, fomentar la formación profesional, proporcionar productos y servicios de calidad, mantener niveles de servicio público de calidad, ser transparente y realizar acciones que minimicen el impacto de la contaminación, o en su caso usar materiales reciclables o bajo impacto ambiental.

Las personas que no eran originarias del municipio difieren de esta postura, manteniéndose con una postura neutral respecto a estos aspectos. Sin embargo, las personas originarias del municipio y las que no lo son, muestran una postura neutral respecto a que las administraciones públicas, los empleados, residentes, clientes, proveedores, empresas y grupos de presión otorgan legitimidad y apoyo social al municipio. Lo que indica que probablemente no estén enterados de las acciones que estos grupos realizan o no existe una buena difusión de estas actividades por parte de los mismos.

Por otro lado, opinan de la misma forma respecto a la imagen del municipio, toman una postura neutral en cuanto a que el municipio tiene una imagen atractiva, que presenta edificios interesantes, programas de cultura interesantes, calidad hotelera, buena señalización, buena infraestructura, transparencia en el manejo de recursos y tener programas para personas sin hogar, inmigrantes o capacidades diferentes.

Análisis correlacional

De acuerdo con el análisis correlacional que se llevó a cabo para determinar si la Legitimidad otorgada por los stakeholders y la Responsabilidad Social Gubernamental se asocia con la Imagen del Gobierno Municipal, se obtuvo lo siguiente:

Tal como se muestra en la tabla 9, las variables se relacionan significativa y positivamente, mostrando un nivel de correlación de 0.695 entre la Responsabilidad Social Gubernamental y la Imagen del Municipio y 0.633 entre la Legitimidad otorgada por los stakeholders y la Imagen del Municipio.

Tabla 7. Asociación entre la Imagen del Gobierno Municipal y la Responsabilidad Social Gubernamental y Legitimidad.

	Responsabilidad Social Municipal	Legitimidad otorgada por los Stakeholders	Imagen del Gobierno Municipal
Responsabilidad Social Municipal	1		
Legitimidad otorgada por los Stakeholders	,591**	1	
Imagen del Gobierno Municipal	,695**	,633**	1

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos.

IV. Regresión Lineal

Analizado el modelo, como se muestra en la Tabla 10, se observa que la variable dependiente (Imagen Gubernamental) presenta un poder explicativo del 55% (R^2 Ajustada de 0.550) y una Prob>F de 0.000, lo que muestra que las variables independientes “Responsabilidad Social Gubernamental y Legitimidad” permiten explicar a la variable dependiente “Imagen Gubernamental”, es decir, las variables independientes son relevantes para explicar la variable dependiente.

A fin de saber si los datos tienen un comportamiento normal y concordancia se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov ($KS= 0.542$), aceptando la hipótesis nula, pues los datos se comportan conforme a una distribución normal, con una Prob > Z= 0.930. De la misma manera se realizó la prueba de Durbin-Watson para saber si había correlación entre las variables, obteniendo un valor de 1.412. Podemos afirmar que no hay evidencia estadística suficiente de que los términos de error estén auto correlacionados positivamente.

Además, se aplicó la prueba de Ramsey para asegurar que no se excluyera a ninguna variable en el modelo, obteniendo una Prob>F de 0.342, con lo que se puede corroborar que no hay ninguna variable excluida. También se comprobó si había homocedasticidad, utilizando la prueba de Breusch-Pagan, con el propósito de verificar que las variables predictoras son significativas y las apropiadas como estimadores lineales, tal como se observa en la tabla 10, el modelo no presenta homocedasticidad.

Tabla 8. Análisis de regresión múltiple

Variable	Modelo
Responsabilidad Social Gubernamental	0.470***
Legitimidad otorgada por los Stakeholders	0.346***
Constante	0.462**
Observaciones	100
F	61.442***
Prob>F	0.000
R² ajustado	0.550
Kolmogórov-Smirnov	0.542
Prob > Z	0.930
Breuch-Pagan	2.330
Prob>X²	0.312
Ramsey	1.130
Prob>F	0.342
Durbin-Watson	1.412***

Uno, dos y tres asteriscos indican niveles de significancia del 10%, 5% y 1% respectivamente.

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de SPSS.

Para detectar problemas de multicolinealidad, se aplicaron las pruebas de la Tolerancia (TOL) y la del Factor de Inflación de Varianzas (FIV). Los resultados revelan que las variables explicativas muestran un valor en FIV menor al valor 10 y valores en TOL mayores a 0.1, indicando que el modelo no tiene problemas de multicolinealidad (Tabla 9).

Tabla 9. Indicadores de multicolinealidad del modelo de cultura de calidad en el gobierno.

	Estadísticos de colinealidad	
	Tolerancia	FIV

RSM	,651	1,536
Legitimidad	,651	1,536

a Variable dependiente: Imagen

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos.

Debido a que el modelo pasó satisfactoriamente todas las pruebas se puede decir que hay evidencia estadística suficiente para aceptar este modelo explicativo de Imagen Gubernamental, presentando a continuación el modelo econométrico (ecuación 2) Imagen Gubernamental de Valle de Santiago de Guanajuato, México:

$$IGM_i = 0.462 + 0.470RSG_i + 0.346LEG_i \quad (2)$$

Conclusiones

Respecto al objetivo de la investigación se concluye que la Responsabilidad Social Gubernamental y la Legitimidad otorgada por los ciudadanos si influyen positivamente en la Imagen Gubernamental que tienen los ciudadanos del municipio de Valle de Santiago, de entre 18 y 34 años, lo que significa que tendrá el municipio que trabajar en sus prácticas de RSG y las prácticas de Legitimidad otorgadas por los Stakeholders, ya que los ciudadanos jóvenes tienen una mala imagen de ambas variables.

Por lo que la hipótesis que guio la investigación: H_1 : La Responsabilidad Social Gubernamental y la Legitimidad otorgada por los Stakholders influye positivamente en la Imagen del Gobierno Municipal de Valle de Santiago, Guanajuato, se acepta.

Dejando claro que, pese a que el municipio ofrece los servicios necesarios para los ciudadanos de entre 18 y 34 años, en general, ellos consideran que el gobierno no se preocupa por mejorar la calidad de vida de sus grupos de interés, por las oportunidades de trabajo o hacer políticas que permitan conciliar la vida laboral con la personal. Factores que sin duda son importantes debido a que es uno de los problemas más relevantes a los que se enfrenta este segmento de la población en la actualidad.

También consideran que los mecanismos de gobierno para dialogar, los productos que proporciona, los servicios, la información sobre estos productos, el respeto hacia los grupos de interés, el interés por el impacto medioambiental, las medidas de ahorro de energía, la reducción de gases y el uso de materiales reciclables son aspectos que el gobierno no realiza y están en desacuerdo con que sean tomados en cuenta por el gobierno. Lo que los lleva a tener una mala imagen del municipio en temas de Responsabilidad Social Gubernamental.

Sin embargo, aunque su percepción respecto al municipio no es muy favorable, este segmento de la población no evalúa a favor o en contra la Imagen del municipio, ya que no afirman o niegan que el municipio tenga una imagen atractiva, que tenga un programa cultural interesante, que cuente con buenos hoteles, servicios públicos, servicios de diversión, buena infraestructura, seguridad para vivir, transparencia en recursos utilizados, programas para las personas sin hogar, migrantes y discapacidad o que realice su trabajo con forme a la ley.

Por otro lado, muestran esta postura neutral en cuanto al reconocimiento de que las administraciones públicas, empleados, clientes, residentes, proveedores, asociaciones empresariales, empresas y grupos de presión otorguen legitimidad al municipio. Lo anterior puede ser debido a su desconocimiento de estas acciones o a la frecuencia con que se realiza. Sin duda es importante comenzar desde el gobierno a implementar prácticas de RSG y regular acciones en esta materia para los Stakeholders, así el gobierno dará ejemplo y por ende los grupos de interés que lo realicen tendrán una mejor imagen tal como lo señala Macri (2014).

Po lo tanto, esto implica que los tomadores de decisiones en el gobierno y grupos de interés deben prestar especial atención en acciones que muestren el compromiso gubernamental con la sociedad y observar las prácticas que otros gobiernos realizan en cuanto a RSG y Legitimidad, para adoptarlas y cambiar la percepción de sus habitantes, para evitar o revertir lo señala Peeters (2013), quién afirma que la mayoría del tiempo la imagen del gobierno es negativa.

Respecto a las variables analizadas en la investigación, se muestra que todas las variables tienen correlación, dejando claro que la RSG y la Legitimidad otorgada por los Stakeholder impactan en la Imagen del municipio en este segmento de la población, evidenciando que la RSG se relaciona en mayor medida con la Imagen del municipio en contraste con la Legitimidad, resultado similar al estudio de Guzmán, Amaya, Salazar, y Ramirez (2018).

Cabe destacar que dentro de las limitaciones que se encontraron para la realización de este trabajo de investigación está el tamaño de la muestra y que solo se aplicó a ciudadanos entre 18 a 34 años de edad, por lo que no se analizó a las personas adultas que quizá por el tiempo que llevan viviendo en el municipio tienen otra percepción del mismo.

Otra limitante fue el área geográfica en que se levantó la información, debido a que solo se cubrió habitantes de un solo municipio, por lo que sería importantes incluir a las ciudadanos del estado de

Guanajuato, para posteriormente hacer comparativos con otros estados, a nivel país con otros países y así obtener resultados generales.

Finalmente, se recomienda realizar estudios de tipo longitudinal, con esto observar el comportamiento de la Imagen del municipio en el tiempo y así observar cómo se comporta. Si bien, ante el panorama de inseguridad en el que se encuentra el estado de Guanajuato y por ende del Municipio de Valle de Santiago, es necesario cambiar la Imagen del gobierno, también es importante que los grupos de interés muestren preocupación mediante acciones que destaquen su imagen frente a este panorama.

Referencias

- Abreu, I. (1998). *Líderes e imagen pública en Venezuela: elementos para el estudio del liderazgo*. Caracas, Venezuela: Fondo Editorial de Humanidades y Educación.
- Aceves, F. d. (2002). *Los medios y la construcción de la imagen pública: las elecciones presidenciales de 1994 en México*. Cd. México, México: Universidad de Guadalajara.
- Agudo, A. (2016). Encuentros ciudadanos con la policía y 'coproducción de seguridad' entre el Estado y la familia. En M. Suárez, & N. Arteaga, *En violencia, seguridad y sociedad en México* (págs. 223 - 249). México: Consejo Mexicano de Ciencias Sociales-Foro Consultivo y Científico.
- Aguilar, A. (2013). *Panorama de la Responsabilidad Social en México*. México: ResponSable.
- Aguilar, A. (2013). *Panorama de la Responsabilidad Social en México*. México: ResponSable.
- Aizpitarte, L. (2018). La responsabilidad social desde una perspectiva de género. (*tesis de grado*). Universidad del País Vasco, Donostia, San Sebastián.
- Alcaraz, F. J. (2013). Análisis de las prácticas de Responsabilidad Social en Gobiernos locales: un estudio empírico. (*Tesis doctoral*). Universidad de Granada, Granada.
- Alvizar, O., & Guénola, C. (2015). Mundo contemporáneo e (in)seguridad. el caso de Zona Esmeralda, un sector suburbano de gated communities. En C. Guénola, & C. Sánchez, *En la (in)seguridad en la metrópoli. Territorio, securización y espacio público* (págs. 57 - 82). México: Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
- Anzola M, O. I. (2005). Caracterización de la cultura corporativa. *Sotavento MBA*, 30-44. Recuperado el 19 de Marzo de 2018, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5137598.pdf>
- Arnaldo, D. (2014). *La competitividad empresarial y la responsabilidad social*. Perú: PUCP.
- Bailey, J. (2015). *Crimen e impunidad, las trampas de la seguridad en México*. Cd. México: DEBATE.
- Baldi, G., & García, E. (2005). Calidad de vida y medio ambiente. La psicología ambiental. *Universidades*, 9-16.
- Barney, J. (1986). Organizational culture: can it be a source of sustained competitive advantage? *Academy Of Management Review*, 656-665.

- Béjar, L., & Bárcena, S. (2016). El proceso legislativo en México: la eficiencia de las comisiones permanentes en un congreso sin mayoría. *Perfiles Latinoamericanos*, 111-140.
- Benítez, R. (2009). La Iniciativa Mérida: nuevo paradigma en la relación de seguridad México-Estados Unidos-Centroamérica. *Revista Mexicana de Política Exterior*, 215-242.
- Bowen, P. W. (1996). The need for quality cultures. *Training for Quality*, 14-18.
- Brewer, A.-R., & Santofimio, J. O. (2013). *Control de Convencionalidad y Responsabilidad Del Estado*. Bogotá, Colombia: Universidad del Externado de Colombia.
- Brower, J. (2015). Aportes epistemológicos para la comprensión de los conceptos de gobernabilidad y gobernanza. *REvista Venezolana de Gerencia*, 20(72), 630-646
- Bustillos, J. (2011). Derechos humanos y protección constitucional. Breve estudio sobre el matrimonio entre personas del mismo sexo en México y en perspectiva comparada. *Boletín mexicano de derecho comparado*, 1017-1045.
- Cajiga C., J. F. (1 de Mayo de 2018). *CEMEFI*. Obtenido de El concepto de Responsabilidad Social Empresarial: https://www.cemefi.org/esr/images/stories/pdf/esr/concepto_esr.pdf
- Calduch, R. (1991). *Relaciones Internacionales*. Madrid: Edit. Ediciones Ciencias Sociales.
- Calleros, J. C. (2010). El vínculo entre seguridad nacional y migración en México. *Revista mexicana de política exterior*, 9-43.
- Cancino del Castillo, C., & Morales Parragué, M. (2008). Responsabilidad Social Empresarial. *Universidad de Chile*, 1-58.
- Canyelles, J. M. (2011). Responsabilidad social de las administraciones públicas. *Revista de Contabilidad y Dirección*, 13, 77-104.
- Cardona A., D., & Agudelo G., H. B. (2005). Construcción cultural del concepto calidad de vida. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 70-90.
- Cardozo, M. I. (2005). Neoliberalismo y eficiencia de los programas sociales en México. *Política y cultura*, 169-186.
- Capello, M., & García, L. G. (2015). Gásto público eficiente propuestas para un mejoramiento en los sistemas de compras y contrataciones gubernamentales. *Actualidad Económica*, 25(85), 5 - 20.
- CENTRARSE. (15 de Abril de 2018). *CENTRARSE en Guatemala*. Obtenido de ¿Qué es RSE?: http://centrarse.org/?page_id=296
- Cerdá, M. J. (2017). Participación y comunicación. Hacia la legitimidad de las políticas públicas de reputación de los territorios. *Miguel Hernández Communication Journal*, 643-669.
- Chiapas Gobierno del Estado. (9 de febrero de 2019). *Gobierno del Estado de Chiapas*. Obtenido de Conoce Chiapas: <http://www.chiapas.gob.mx/ubicacion/>
- Cohen, R. &. (2001). *Pruebas y evaluaciones psicológicas. Introducción a las pruebas y a la medición*. . México: McGraw Hill.

- Cortés, N., & Zárate, J. E. (2019). La gloria de la pobreza. Emergencia de actores frente a programas de asistencia social. *ALTERIDADES*, 29(57), 87-98.
- Council of Europe. (25 de octubre de 2018). *Protección legal de los derechos humanos*. Obtenido de COMPASS: Manual de Educación en los Derechos Humanos con Jóvenes: <https://www.coe.int/es/web/compass/legal-protection-of-human-rights>
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297-334.
- Cueto, C. (2014). La responsabilidad social corporativa del sector público: un análisis aplicado a las grandes ciudades en España. (tesis). Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid.
- Daniels, S. (1992). The total quality culture. *Work Study*, 13-15. doi:10.1108/EUM0000000002675
- D'Alessio, F., & Álvarez, C. (2016). Ranking de Competitividad Mundial 2016. IMD WORLD COMPETITIVENESS YEARBOOK 2016, 1-20.
- Dávalos, M., Hernández, R., & Pulido, D. (2017). *Orden, policía y seguridad*. Mexico: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Del Hierro, J. L. (2013). Legitimidad y transparencia. *Eunomía. Revista en Cultura de la Legalidad*, 179-186.
- Dextre, J. C. (2016). Un encuentro con la auditoría gubernamental. *Lidera* (11), 34 - 38.
- Diez, E. (2007). La cultura y la Responsabilidad Social: Binomio Estratégico en las organizaciones. *Visión Gerencial*, 231-244.
- Di Iorio, A., D'Onofrio, A., Clara, B., Ruffa, M. B., Giaccaglia, M. F., Díaz, R., & Uriarte, V. (2019). El derecho de acceso a la información pública en los. SID, *Simposio Argentino de Informática y Derecho*, 157 - 169.
- Dolado, J., García-Serrano, C., & Gómez, R. (1997). Creación y Destrucción de Empleo: Una Panorámica con nuevos resultados para España. *Papeles de Economía Española*, 2-29.
- DNP. (28 de 05 de 2016). Departamento Nacional de Planeación. Obtenido de Departamento Nacional de Planeación: <https://www.dnp.gov.co/DNP/gestion/buen-gobierno/Paginas/Buen-Gobierno.aspx>
- Emond, B., & Taylor, J. Z. (2018). The importance of measuring food safety and quality culture: results from a global training survey. *Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, 369-375. doi:<https://doi.org/10.1108/WHATT-02-2018-0012>
- ENVIPE. (2018). *Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad Pública*. México: INEGI.
- Fernández-Robín, C., & Aqueveque-Torres, C. (2001). Segmentación de mercados: buscando la correlación entre variables psicológicas y demográficas. *Revista Colombiana de Marketing*, 1-14.
- Figueras, V. M. (2019). Gobierno Abierto en México: hacia una discusión realista de su factibilidad. *Revista mexicana de ciencias políticas y sociales*, 64(235). doi:<http://dx.doi.org/10.22201/fcpys.2448492xe.2019.235.59021>

- García-Álvarez, C. M. (2006). Una aproximación al concepto de cultura organizacional. *Universitas Psychologica*, 163-174.
- García-Sánchez, I. M., Frías-Aceituno, J. V., & Rodríguez-Domínguez, L. (2013). Determinants of corporate social disclosure in Spanish local governments. *Journal of Cleaner Production*, 39, 60-72.
- GEM. (2015). *GEM Mexico 2015-National Report*. Monterrey: GEM. Recuperado el Abril de 2018, de <https://www.gemconsortium.org/report/49639>
- Geoff, B. (1997). Leadership and the development of quality culture in schools. *International Journal of Educational Management*, 52-64.
- Gilli, J. J. (2017). La transparencia como objetivo del desarrollo sostenible. *Ciencias Administrativas*, 5(9), 44 - 49.
- Gillies, A. C. (2015). Tools to support the development of a quality culture in a learning organisation. *The TQM Journal*, 471 - 482. doi:<http://dx.doi.org/10.1108/TQM-03-2015-0039>
- Gómez, H. D. (2014). Responsabilidad social en la municipalidad de Huehuetenango. (*tesis de licenciatura*). Universidad Rafael Landívar, Quetzaltenango.
- González-Ortiz, J. H., Escalera-Chávez, M. E., & Pérez-Veyna, Ó. (2010). Construcción del cuestionario para determinar el nivel de Cultura de Calidad en MiPymes. *Investigación y Ciencia*, 39-48.
- Gordoa, V. (1999). *El Poder de la Imagen Pública*. Cd. México: Editores Asociados Mexicanos.
- Gordoa, V. (2008). *La Imagen Vendedora*. Cd. México: Grijalbo.
- Gueyara, M., Marruffo, M., & Rattia, J. (2019). Los saberes comunitarios y el control de dengue. Una experiencia en el municipio de Mario Briceño Iragorry, Venezuela. *Espacio Abierto*, 28(1), 227-252.
- Guillamón, M. D., Ríos, A. M., & Vicente, C. (2011). Transparencia financiera de los municipios españoles. Utilidad y factores relacionados. *Auditoría Pública*, 55, 109-116.
- Gujarati, D. N. (2003). *Econometría*. Cd. México, México: McGraw-Hill Interamericana.
- Guzmán, H. F., Amaya, I. F., Salazar, L., & Ramirez, M. L. (2018). Responsabilidad social empresarial en turismo, un caso práctico en la cadena hotelera GHL. En J. A. Perea, J. J. Palacios, & E. O. Cruz, *La responsabilidad social: Académica, Corporativa e Innovadora* (págs. 94-112). Bogotá: ISBN: 978-958-56959-4-8.
- Hairuddin, M., & Mohammed, B. M. (2012). Investigation of Malaysian higher education quality culture and workforce performance. *Quality Assurance in Education*, 289-309. doi:<https://doi.org/10.1108/09684881211240330>
- Hernández Aja, A. (2009). Calidad de vida y medio ambiente urbano. Indicadores locales de sostenibilidad y calidad de vida urbana. *Revista invi*, 79-11.
- Hernández JuncoI, V., Quintana Tápanes, L., Mederos Torres, R., Guedes Díaz, R., García Gutiérrez, B. N., & Cabrera Rosell, P. (2015). Influencia de la cultura organizacional en la calidad del servicio en el Hospital "Mario Muñoz Monroy". *Trabajos Originales*, 1-8. Recuperado el 6 de marzo de 2018, de <http://scielo.sld.cu/pdf/mil/v37n3/mil03308.pdf>

- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Grow Hill/Interamericana Editores, S. A. de C. V.
- Jerez, G., Palacios, J. J., & Castro, A. F. (2018). Responsabilidad social corporativa generadora de resultados empresariales y fuente de ventaja competitiva: capital intelectual. En J. A. Perea, J. J. Palacios, & E. O. Cruz, *La responsabilidad social> Acad'emica, corporativa e innovadora* (págs. 15-42). Bogotá: ISBN: 978-958-56959-4-8.
- Jiménez, R. E. (2004). Indicadores de calidad y eficiencia de los servicios hospitalarios. Una mirada actual. *Revista Cubana de Salud Pública*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-34662004000100004&script=sci_arttext&tlng=pt
- Kloter, P., & Armstrong, G. (2017). *Fundamentos de marketing*. México: Pearson Educación de México.
- Kotler, P., & Armstrong, G. (2017). *Fundamentos de marketing*. Ciudad de México, México: Pearson Educación de México.
- Lamb, C., Hair, J., & McDaniel, C. (2002). *Marketing (6ta ed.)*. Ciudad de México, México: International Thomson Editores.
- Levy, S. (2007). ¿PUEDEN LOS PROGRAMAS SOCIALES DISMINUIR LA PRODUCTIVIDAD Y EL CRECIMIENTO ECONÓMICO?: Una hipótesis para México . *El Trimestre Económico*, 491-540 .
- Ley general de Transparencia y Acceso a la Información Pública. (2004). *Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública*. Ciudad de México: Diario oficial la gaceta.
- Lima, V. P., Da Silva, S. M., & De Abreu, A. M. (2016). Determinants of sustainability e-reporting in portuguese municipalities: an institutional and legitimacy theoretical framework. *Corporate Responsibility and Stakeholding Developments in Corporate Governance and Responsibility*, 10, 131-163.
- Lo, T. Y. (2002). Quality culture: a product of motivation within organization. *Managerial Auditing Jour*, 272-276.
- Lomnitz-Adler, C. (2000). *Vicios públicos, virtudes privadas: la corrupción en México*. Ciudad de México: Porrúa.
- López-Pinto, B. (2001). *La esencia del Marketing*. Cataluña, España: EDICIONS UPC.
- Macri, J. (2014). La influencia de la globalización sobre la responsabilidad social. *Revista naturalista de París*, 27-32.
- Maquiavelo, N. (1999). *El principe*. Florencia: Espasa*Calpe.
- Melania, O. (2019). Programas sociales en México: PROGRESA-OPORTUNIDADES-PROSPERA. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*.
- Mendoza, J. A., León, M., & Lizárraga, R. M. (2019). La corrupción como límite para la comtetitividad de municipios en Sinaloa, México. *Revista de Investigación Latinoamericana en Competitividad Organizacional RILCO*(2), 1-12.

- Meyer, J., & Scott, W. R. (1983). Centralization and the legitimacy problems of local government. *Organizational Environments : Ritual and Rationality* , 199-215.
- Mokate, K. M. (2001). *Eficacia, eficiencia, equidad y sostenibilidad: ¿Qué queremos decir?* Washinton, EUA: BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. Serie de documentos de trabajo I-24.
- Molina, M., Martínez, G., & Zazueta, M. R. (2015). Contextualización y Construcción de la Transparencia en México. *Revista de Investigación Académica sin Fronter*, 8(21), 1-17.
- Moneva, J. M. (2005). Información sobre responsabilidad social corporativa: situación y tendencias. *REVISTA ASTURIANA DE ECONOMÍA*, 43-69.
- Morris, S. D. (1992). *Corrupción y política en el México contemporáneo*. Ciudad de México: Siglo Veintiuno editores.
- Navarro-Galera, A., Ruiz-Lozano, M., De los Rios-Berjillos, A., & Tirado-Valencia, P. (2014). La responsabilidad social corporativa en los gobiernos locales: el caso de Reino Unido e Irlanda. *Innovar*, 24(84), 89-105.
- Navarro-Galera, A., Ruiz-Lozano, M., de los Ríos-Berjillos, A., & Tirado-Valencia, P. (2014). La responsabilidad social corporativa en los gobiernos locales: el caso de Reino Unido e Irlanda. *Revista Innovar journal*, 89-105.
- Nevado-Gil, M. T., & Gallardo-Vázquez, D. (2016). Información sobre Responsabilidad Social contenida en las páginas webs de los ayuntamientos. Estudio en la región del Alentejo. *Revista Española de Documentación Científica*, 39(4), 1-17.
- Nunnally, J. (1970). *Introduction to psychological measurement*. Japon: McGraw Hill.
- OMS. (1997). MEASURING QUALITY OF LIFE. *OMS*, 1-13.
- Orrego, C. (2014). *Corrupción y modernización del estado*. New York: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal Morphol*, 227-232.
- Peeters, R. (2013). Responsibilisation on government's terms: new welfare and the governance of responsibility and solidarity. *Social Policy & Society*, 12(4), 583-595.
- PGJE. (23 de Diciembre de 2014). Procuraduría General del Estado de Chiapas. Obtenido de Procuraduría General del Estado de Chiapas: <http://www.pgje.chiapas.gob.mx/transparencia/>
- Pongpiachan, S. (2018). Variables that influence stakeholder satisfaction with the creation of corporate images of Thailand's National Housing Authority. *Journal of Human Behavior in the Social Environment*, 1-26.
- Portal de Transparencia del Estado de Chiapas. (2018). *Portal de Transparencia*. Obtenido de Información Pública Obligatoria: <http://transparencia.chiapas.gob.mx/PortalGral/PortalConsultaFracciones>
- Pride, W., & Ferrell, O. (1997). *Marketing: conceptos y estrategias (9na ed.)*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana.

- ResponSable. (2013). *Panorama de la Responsabilidad Social en México*. México: Responsable.
- Rhodes, R. A. (2011). *Public Administration: 25 Years of Analysis and Debate*. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Ríos-Manríquez y Sánchez-Fernández, 2019. *La Responsabilidad Social Gubernamental*. Ed. Universidad de la Coruña, Universidad de Guanajuato.
- Rivero, P. (2006). La Responsabilidad Social Corporativa en la PYMES. *Lan Harremanak*, 77-91.
- Robles, A. R. (2016). Estudio para el Diagnóstico de la Responsabilidad Social en el Sector Público de la Alcaldía de Tunja. (*tesis de licenciatura*). Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, Boyacá.
- Rodríguez, A. d. (2008). Responsabilidad social empresarial, calidad de vida y trabajo social. *Trabajo Social*, 0123-4986.
- Rodríguez, E. (2019). Comportamiento electoral, programas sociales y redes clientelares durante el predominio Perredista en la ciudad de México. En L. A. González, *Clientelismo, patronazo y corrupción en Colombia y México* (págs. 183-220). Barranquilla, Colombia: Editorial Universal del Norte.
- Rodríguez, A., Quintanar, P., & Vargas, K. (2017). Anexo estadístico. En R. Benítez, & S. Aguayo, *Atlas de la seguridad y la defensa en México* (págs. 245 - 501). México: Colectivo de análisis de la seguridad con democracia/Senado de la República.
- Rodríguez, J. M. (2017). Políticas públicas. *Venezolana de Enfermería*, 4(2), 17 - 26.
- Rueda, S. (2004). Habitabilidad y calidad de vida. *Cuadernos de Investigación urbanística*, 29-34.
- Ruiz, W. (2016). *Responsabilidad del estado y sus regímenes*. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Ruiz-Rico, C. (2014). RESPONSABILIDAD SOCIAL PÚBLICA Y CALIDAD DEMOCRÁTICA. *Derecho y Cambio Social*, 1-17.
- Sáenz, K., & Tamez, G. (2014). *Métodos y técnicas cualitativas y cuantitativas aplicables a la investigación en ciencias sociales*. Ciudad de México: Editorial Tirant Humanidades.
- Salazar, J. M. (2019). Implementación de un Plan de Seguridad y Salud Ocupacional para reducir los riesgos laborales en el botadero municipal de residuos sólidos de la ciudad de Huamachuco, 2018. (*tesis de maestría*). Universidad César Vallejo, Perú.
- Salazar-Rodríguez, A., & Hernández-Diego, C. (2019). Evaluación de la eficiencia del Sistema de Gestión Integral de residuos Sólidos urbanos en el municipio de Benito Juárez, Quintana Roo. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 20(2), 73-102.
- SCIM. (2018). *Unidad de Microregiones*. Villaflores, Chiapas: SEDESOL. Recuperado el Abril de 2018, de <http://www.microrregiones.gob.mx/zap/datGenerales.aspx?entra=zap&ent=07&mun=108>
- Secretaría de Economía y del Trabajo Estado de Chiapas. (Octubre de 2018). *Programas y Servicios*. Obtenido de Secretaría de Economía y del Trabajo Estado de Chiapas: <http://www.economiachiapas.gob.mx/>

- Severino-González, P., Pujol-Cols, L., & Lazzaro.Salazar, M. (2019). Responsabilidad social en un centro público de salud en Chile. *ESPACIOS*, 40(10), 1-9.
- Subirats, J. (1994). *ANALISIS DE POLITICAS PUBLICAS Y EFICACIA DE LA ADMINISTRACION*. Madrid, España: MAP.
- Suchman, M. (1995). Managing legitimacy: strategic and institutional approaches. *Academy of Management Review*, 571-610.
- Soriano, E. (2014). El buen gobierno en la legislación española. En la regeneración del sistema: reflexiones en torno a la calidad democrática, el buen gobierno y la lucha contra la corrupción. *Universidad Cardenal Herrera*, 235-247.
- Ulf-Daniel, E. (2009). Understanding quality culture. *Quality Assurance in Education*, 343-363. doi:<https://doi.org/10.1108/09684880910992322>
- Vélez-Romero, X. A., & Cano-Lara, E. D. (2016). Los diferentes tipos de responsabilidad social y sus implicaciones éticas. *Revista Científica Dominio de las Ciencias*, 117-126.
- Véliz Capuñay, C. (2011). *Estadística para administración y negocios*. Naucalpan de Juárez, México.: Pearson.
- Verdiales, D. M. (2018). El reconocimiento de los derechos sociales y la construcción de la política social en México. *Revista Electrónica Iberoamericana*, 12(2), 1-26.
- Verdugo, M. Á., & Schalock, R. L. (2013). *Discapacidad e inclusión. Manual para la docencia*. Salamanca: Amarú.
- Villalta, J. M. (2019). La organización municipal en la participación ciudadana en el distrito de Yantalo, provincia de Moyobamba, 2017. (*tesis de maestría*). Universidad César Vallejo, Perú.
- Villecillo, M. R., & Gutiérrez, J. J. (2016). La responsabilidad social pública como elemento de política de empleo. *CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*(87), 1-28.
- Brower, J. (2015). Aportes epistemológicos para la comprensión de los conceptos de gobernabilidad y gobernanza. *REvista Venezolana de Gerencia*, 20(72), 630-646.
- DNP. (28 de 05 de 2016). Departamento Nacional de Planeación. Obtenido de Departamento Nacional de Planeación: <https://www.dnp.gov.co/DNP/gestion/buen-gobierno/Paginas/Buen-Gobierno.aspx>
- Orrego, C. (2014). *Corrupción y modernización del estado*. New York: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Soriano, E. (2014). El buen gobierno en la legislación española. En la regeneración del sistema: reflexiones en torno a la calidad democrática, el buen gobierno y la lucha contra la corrupción. *Universidad Cardenal Herrera*, 235-247.
- Villoria, M., & Izquierdo, A. (2015). *Ética Pública y Buen Gobierno*. Madrid, España: Tecnos.
- Vilma, P., & Carla, Z. (2018). Género y programas sociales: la construcción de una nueva agenda de investigación. *Núcleo Básico de Revistas Científicas Argentinas (Caicyt-Conicet)*(32), 307-326.

- Weber, M. (15 de Junio de 2017). *La política como vocación*. Obtenido de La política como vocación: <http://disenso.info/wp-content/uploads/2013/06/La-politica-comovocacion-M.-Weber.pdf>
- Wilson , F. (2015). The Quality Maturity Model: your roadmap to a culture of quality . *Library Management*, 258-267.
- Wooldridge, J. M. (2010). *Introducción a la Econometría un enfoque moderno*. México: CENGAGE Learning.
- Wu, S. J. (2015). The impact of quality culture on quality management practices and performance in Chinese manufacturing firms. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 799-814. doi:<https://doi.org/10.1108/IJQRM-12-2013-0199>
- Zenck, M., Ríos, I., Pogo, L., & Cueto, C. (2017). Análisis de la transparencia sobre las políticas locales de responsabilidad social en Ecuador: estudio de los casos de Quito, Guayaquil y Machala. *RIGC*, 15(29), 1-23.
- Zenker, S., & Beckmann, S. C. (2013). My place is not your place-different place brand knowledge by different target groups. *Journal of Place Management and Development*, 6(17), 6-17.
- Zenker, S., & Petersen, S. (2014). An integrative theoretical model for improving resident-city identification. *Environment & Planning A*, 46(3), 715-729.

Microrganismos aerotransportados e material particulado em ambiente hospitalar

Lucas D'avila, Manuel Feliciano, Marcia Agustini, Paula Baptista, Cristina Cameirão, Maria Domingues, Vanessa Yamanaka, Ermelinda Pereira

1st Lucas D'avila
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
lucasdvla@outlook.com

2nd Manuel Feliciano
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
msabenca@ipb.pt

3rd Marcia Agustini
Universidade Tecnológica
Federal do Paraná
Medianeira, Brasil
marciaagustini@utfpr.edu.br

4th Paula Baptista
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
pbaptista@ipb.pt

5th Cristina Cameirão
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
ccameirao@ipb.pt

6th Maria de Fátima Domingues
Unidade Local de Saúde
Nordeste
Bragança, Portugal
fatima.domingues@ulsne.min-saude.pt

7th Vanessa Yukie Yamanaka
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
vanessa.yukie.yamanaka@gmail.com

8th Ermelinda L. Pereira
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
epereira@ipb.pt

Abstract— A qualidade do ar interior em ambiente hospitalar é um fator essencial no controlo de infeções nosocomiais. Este estudo teve por objetivo determinar as concentrações de microrganismos e material particulado (PM) em suspensão no ar interior de um Bloco operatório e identificar, por métodos moleculares, os microrganismos presentes. Utilizou-se a técnica de impacto em meio sólido para determinar as concentrações de bactérias e fungos e paralelamente utilizou-se um espectrómetro portátil para medir as partículas em suspensão. As menores concentrações de bactérias e de fungos foram observadas nas salas de cirurgia e as maiores na antecâmara. Os géneros bacterianos com maior prevalência foram *Staphylococcus*, *Micrococcus* e *Bacillus* e os fúngicos foram *Penicillium*, *Cladosporium*, *Rhodotorula* e *Aspergillus*. Verificou-se uma correlação forte ($r \geq 0,9$) entre as concentrações médias de bactérias, fungos e a concentração de material particulado, expressa em número de partículas por centímetro cúbico, demonstrando que o material particulado pode ser usado de forma indireta como indicador de qualidade do ar interior, uma vez que estes parecem estar associados aos microrganismos aerotransportados. A ausência de ventilação mecânica na antecâmara demonstrou ter importância na acumulação de poluentes. Compreender as condições do ambiente avaliado é estratégia fundamental na aplicação de medidas de controlo.

Palavras-chave—Qualidade do ar interior, bloco operatório, bactérias, fungos, material particulado.

^a INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO) a qualidade do ar interior (QAI) encontra-se na oitava posição entre os principais fatores de risco para a

saúde humana, causando cerca de 1,6 milhões de mortes prematuras e sendo responsável por cerca de 3% dos casos de infeções a nível mundial [1]. Em relação aos ambientes hospitalares, a QAI é um fator essencial para garantir a segurança e saúde dos pacientes, funcionários e visitantes e evitar as infeções nosocomiais [2][3].

As infeções nosocomiais, infeções adquiridas em ambiente hospitalar, têm impactos severos nas taxas de morbidade e mortalidade. Estima-se que cerca de 7% dos pacientes acabam por adquirir alguma infeção após terem sido internados [4]. Estas infeções aumentam o período de estadia dos pacientes, resultando em gastos financeiros acrescidos e aumento do uso de antimicrobianos, contribuindo na seleção de microrganismos resistentes [5]. A maior parte destas infeções são aerotransportadas, sendo o sistema respiratório o conjunto de órgãos mais afetado no corpo humano [6][7][8].

Além das infeções nosocomiais, a má qualidade do ar tem impactos severos em sintomas de alergias, asma, cancro de pulmão, doenças cardiovasculares, respiratórias e ocupacionais. Estes problemas estão associados a fatores químicos, físicos e microbiológicos, tais como compostos orgânicos voláteis, material particulado (PM), bactérias e fungos [9][10][11]. Alguns estudos sugerem que a maior parte das bactérias e fungos aerotransportados estão associados a material particulado em suspensão, uma vez que este fornece um habitat favorável para o crescimento microbiano [12][13]. Além de fornecer suporte à vida microbiana, o material particulado é um importante indicador de qualidade do sistema de aquecimento,

ventilação/filtração e ar condicionado (AVAC) em ambientes interiores [14].

Vários estudos sugerem que grande parte destas infecções poderiam ser evitadas com medidas de melhoria da QAI [15][16]. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade do ar interior em relação às bactérias, fungos e material particulado em suspensão no Bloco Operatório (BO), avaliar potenciais fontes de contaminação do ar e comparar os resultados com o limiar de proteção estabelecido pela legislação nacional e normas e diretrizes internacionais para QAI.

^bMATERIAIS E MÉTODOS

a. Descrição do local de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido no BO de uma unidade hospitalar do distrito de Bragança. Neste ambiente podem realizar-se intervenções cirúrgicas programadas ou de urgência. Podem também realizar exames que requeiram um elevado nível de cuidados de assepsia e/ou ministração de anestesia. Os ambientes avaliados no bloco operatório foram a sala de cirurgia geral (SCG), sala de cirurgia de urgência (SCU), recobro (RC) e a zona de transferência de pacientes (TF). O acesso a estes ambientes é restrito a fim de evitar contaminações, e apenas é permitido com o uso de uniforme cirúrgico. Para além dos ambientes mencionados, fez-se a avaliação da Antecâmara (AC), zona adjacente ao bloco operatório, caracterizada como zona livre, ou seja, sem exigência quanto ao uso de uniforme cirúrgico. Esta zona é utilizada para armazenamento de material cirúrgico, permite o acesso ao bloco operatório e ao serviço de esterilização e pode ser acedida pelos elevadores de transferência de doentes ou pelo corredor dos quartos hospitalares.

No âmbito hospitalar, mais concretamente em salas de cirurgia e áreas adjacentes, surge a necessidade de seguir normas e guias para salas limpas (ISO 14664-1; GMP). Estes ambientes devem ser operados de maneira a evitar a entrada, produção e retenção de poluentes no interior, principalmente no que diz respeito a material particulado e microbiológico. Para isso, usa-se um sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) com filtros HEPA de alta eficiência capazes de controlar parâmetros como temperatura, humidade e pressão [17][18].

As salas de cirurgia encontram-se sob pressão positiva em relação às áreas adjacentes, a fim de minimizar a entrada de ar contaminado de outros ambientes, e apresentam sistemas de insuflação e exaustão de ar [19][20][21]. O recobro também está equipado com um sistema de insuflação e exaustão de ar. O TF e a AC não integram qualquer sistema de entrada e saída de ar. Em

todos os ambientes as janelas são estancadas, de modo a evitar a entrada de poluentes do ambiente exterior.

b. Amostragens do ar

As amostragens, num total de 10 ensaios, decorreram nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2019. O acesso ao bloco operatório foi realizado com o uso de uniforme cirúrgico descartável composto por: calça, túnica, máscara, touca, protector de sapatos e luvas. As amostras de ar foram colhidas nas salas operatórias (SCG e SCU), recobro (RC), zona de transferência de doentes (TF), antecâmara (AC) e também no ambiente exterior do hospital (EXT). Em todos os locais foi efetuado a recolha de amostras no centro de cada divisão e aproximadamente a 150 cm do nível do chão. Por questões logísticas, as amostragens *in situ* nas salas de cirurgia (SCG e SCU) decorreram no período de intervalo cirúrgico (13:00 – 14:00 PM) e nos demais ambientes (RC, TF, AC e exterior) realizaram-se durante o período da tarde.

c. Concentração de bactérias e fungos

A concentração de microrganismos aerotransportados foi determinada pelo método de impacto em meio sólido por meio de um amostrador de ar ativo modelo DUO SAS 360 (VWR International, Milan, Italy), com vazão de amostragem de 180 L/s. O volume de ar amostrado foi ajustado para 1000 L, valor recomendado para o local de estudo (áreas estéreis e de alto risco). Os meios de cultura utilizados foram Tryptic Soy Agar (TSA, Liofilchem - Italy), adicionado com 500 mg/L de cicloheximida (Merck), para a contagem total de bactérias e Rose Bengal Chloramphenicol Agar (RBC, Liofilchem - Italy) para fungos. Após a colheita, as placas de TSA foram incubadas em estufa a 37 °C por um período de 48 h, e as de RBC a 25 °C durante 72-120 h. Para cada meio foram efetuadas 3 réplicas. O número de unidades formadoras de colónias por metro cúbico de ar (UFC/m³) foi determinado com recurso a fatores de conversão fornecidos pelo fabricante do aparelho.

d. Material particulado

O aparelho Optical Particle Sizer Spectrometer model 3330 da TSI Incorporated foi utilizado para monitorizar a concentração de material particulado em suspensão, distribuindo-o por 16 intervalos de tamanho compreendidos entre os 0,3 e os 10 µm. As medições decorreram em paralelo com as medições dos parâmetros microbiológicos, onde o tempo de amostragem foi ajustado para 20 minutos. Para verificar a conformidade legal (Portaria nº 315-A/2013), o número total de

partículas por centímetro cúbico foi convertido em concentração mássica ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

e. Identificação molecular de bactérias e fungos

Culturas puras de bactérias e fungos foram isoladas em meio Plate Count Agar (Himedia) e Malt Extract Agar (Himedia), respetivamente. O DNA genómico foi extraído por meio do kit de extração REDEExtract-NAmp™ (SigmaAldrich), seguindo as instruções do fornecedor. A identificação dos isolados foi conseguida através da amplificação e sequenciação da região Espaçadora Transcrita Interna (ITS) do DNA ribossomal (rDNA), usando os iniciadores oligonucleotídicos universais ITS1 e ITS4 [48] para o caso dos fungos, e da região 16S do rDNA utilizando os iniciadores oligonucleotídicos 27F e 534R para as bactérias [22][23]. Os produtos da ampliação foram sequenciados pela empresa Macrogen Inc. (Seul, Coréia do Sul), utilizando os mesmos primers da reação de ampliação. As sequências foram identificadas por meio da base de dados fornecida pelo Centro Nacional de Informação Biotecnológica (NCBI) em conjunto com o algoritmo BLAST. O maior grau de similaridade e o menor E-value (Expected value) foi utilizado como critério de classificação para o resultado do sequenciamento. O género e a espécie foram considerados para sequências com grau de identificação superior a 99%. Para sequências com grau de identificação inferior a 98% apenas o género foi aceite. Os isolados com grau de identificação inferior a 97% foram considerados como desconhecidos ou não identificados. Considerou-se apenas o género nos casos em que a base de dados correlacionou a leitura do sequenciamento genómico com múltiplas espécies.

f. Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas através do software JMP v.11. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas através do teste de Tukey considerando-se significativo um valor de $p < 0.05$. A correlação entre as concentrações médias de bactérias e fungos e a concentração de partículas foi executada no software Excel v.365.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios \pm desvio padrão para as concentrações de bactérias, fungos e material particulado encontram-se expressos na Tabela 1.

CONCENTRAÇÕES MÉDIAS (\pm DP) DOS PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS E MATERIAL PARTICULADO.

Local	Bactérias	Fungos	PM _{2.5}	PM ₁₀
	UFC/m ³		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
SCG	1,8 \pm 1,7 ^C	0,2 \pm 0,5 ^C	0,11 \pm 0,11 ^B	1,61 \pm 1,38 ^B
SCU	1,3 \pm 1,6 ^C	0,3 \pm 0,6 ^C	0,16 \pm 0,25 ^B	2,98 \pm 5,02 ^B
RC	28,0 \pm 28,9 ^B	2,3 \pm 2,7 ^B	0,63 \pm 0,60 ^B	10,90 \pm 13,64 ^B
TF	55,5 \pm 55,9 ^{AB}	2,5 \pm 1,8 ^B	1,54 \pm 1,22 ^B	20,52 \pm 15,02 ^{AB}
AC	95,7 \pm 93,8 ^A	3,2 \pm 3,5 ^B	1,32 \pm 0,88 ^B	17,17 \pm 11,24 ^{AB}
EXT	21,1 \pm 19,9 ^B	170,4 \pm 75,6 ^A	9,50 \pm 8,03 ^A	33,52 \pm 11,24 ^A

Nota: Letras maiúsculas por coluna indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey.

As menores concentrações de bactérias e de fungos foram observadas na SCG e SCU, sendo estas concentrações significativamente mais baixas às detetadas nos outros locais. As concentrações mais elevadas foram registadas na AC (95,7 UFC/m³ para bactérias e 3,2 UFC/m³ para fungos). Os resultados observados nas SCG e SCU devem-se sobretudo à existência de um sistema AVAC que atua sob pressão positiva apenas nas salas de cirurgia, fornecendo ar filtrado e assegurando renovação constante do ar novo, reduzindo a carga microbiana e impedindo a entrada de poluentes. Também as variações encontradas nos outros locais podem estar relacionadas com a natureza das atividades desenvolvidas, condições arquitetónicas dos locais, taxa de ocupação e frequência de limpeza, quando comparados com as salas de cirurgia. Exemplo disso é a antecâmara (AC), local desprovido de sistema AVAC sem janelas e de acesso ao elevador, onde a acumulação de poluentes é favorecida em resultado das condições arquitetónicas e do padrão de utilização do espaço.

O ambiente avaliado apresentou concentrações de bactérias e fungos inferiores aos valores reportados por outros autores em unidades hospitalares, designadamente em salas de cirurgia de transplante, sala de cirurgia cardiovascular, sala de cirurgia ortopédica, sala de cirurgia de emergência e sala de cirurgia geral [24][25][26][27]. Estes autores reportaram concentrações de microrganismos que variaram entre 13 e 231 UFC/m³, e, além do mais, também observaram que a concentração de bactérias no ar interior foi sempre superior à de fungos.

Tendência semelhante foi observada por [24] no BO de uma unidade hospitalar da região de Setúbal onde a

concentração de bactérias variou de 12 a 170 UFC/m³ sendo superior à concentração de fungos (inferior a 1 UFC/m³). Também, [2] reportaram comportamento semelhante onde as menores concentrações de bactérias (221 UFC/m³) e fungos (58 UFC/m³) foram observadas em salas de cirurgia. Contudo, os autores relatam que durante a campanha de amostragem, o sistema AVAC não estava operacional e por esse motivo as concentrações de microrganismos foram elevadas.

As concentrações de bactérias e fungos em todos os locais avaliados encontram-se dentro dos valores exigidos pela legislação em vigor em Portugal (Portaria 353-A/2013), que indica como condições de referência que a concentração de bactérias no interior seja inferior ao valor do exterior, acrescido de 350 UFC/m³; e em relação aos fungos que seja inferior à detetada no exterior. Para além da legislação nacional, os ambientes avaliados atenderam aos limiares de proteção estabelecidos por normas e legislações internacionais (Tabela II).

DIRETRIZES INTERNACIONAIS COM LIMIAR DE PROTEÇÃO PARA PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS.

Referência	Ambiente	Parâmetro	Limiar (UFC/m ³)
ANVISA	Salas de cirurgia	Agentes biológicos	200
	Sala de cirurgia especializada	Agentes biológicos	50
ISO 14644-1	Classificação 7	Agentes biológicos	100
	Classificação 8	Agentes biológicos	200
ACGIH	Limite exposição ocupacional	Fungos	250
OMS	Limite ambientes hospitalares	Fungos	50
		Bactérias	100

ANVISA – Agência nacional de vigilância sanitária - Brasil; ISO – Organização internacional de normalização; ACGIH – Conferência americana de higienistas industriais governamentais; OMS – Organização mundial da saúde.

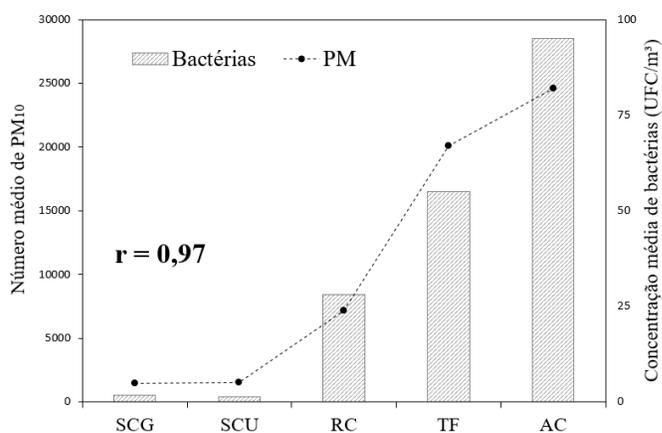
a. Material particulado

A concentração média de partículas em suspensão no ambiente interior, fração PM₁₀ variou entre 1,61 e 20,25 µg/m³, enquanto a fração de PM_{2,5} oscilou entre 0,11 e 1,54 µg/m³ (Tabela 1). Estes valores foram inferiores ao limiar de proteção exigido por lei (Portaria 353-A/2013), 50 µg/m³ e 25 µg/m³, respetivamente. À semelhança do observado com os microrganismos, as menores concentrações foram registadas nas salas de cirurgia. As maiores concentrações foram verificadas na zona de transferência de doentes.

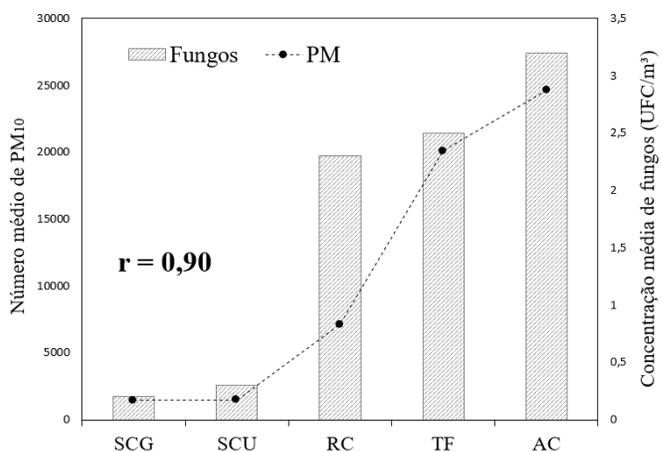
Noutros estudos de QAI em ambiente hospitalar, foram obtidos em salas de cirurgia com sistema AVAC valores

superiores. [26] reportaram concentração de PM₁₀ de 10,7 µg.m⁻³ em sala de transplantes, 15,6 µg/m³ em sala de traumatologia, 3 µg/m³ em sala de cirurgia cardiovascular, 10 µg/m³ em sala de cirurgia retal e 12.6 µg/m³ em sala de cirurgia ortopédica. [28] reportaram concentrações de PM₁₀ muito similares, entre 10,16 e 21,87 µg/m³. [29] detetaram concentrações médias de PM_{2,5} em diferentes hospitais europeus de 3 µg/m³, embora tenham registado concentrações superiores a 10 µg/m³ em salas de espera, departamentos de emergência, unidades de internação e cafeterias.

Além dos impactos na saúde, alguns estudos sugerem que o material particulado fornece um habitat favorável para o crescimento de microrganismos aerotransportados [30][31][12]. Com efeito, na Figura 2 e 3 é possível verificar uma correlação muito forte ($r \geq 0,9$) entre os valores médios do número de material particulado e as concentrações médias de bactérias e fungos, respetivamente.



Correlação entre a concentração média de bactérias e o número médio de PM₁₀.



Correlação entre a concentração média de fungos e o número médio de PM₁₀.

Outros autores também referem correlação positiva entre PM e níveis de agentes microbiológicos em ambientes hospitalares, onde as maiores concentrações de bactérias e fungos foram observadas em ambientes com concentrações mais elevadas de PM [26][32][33][34]. Estes resultados enfatizam a importância de um sistema AVAC adequado em ambientes que necessitam de uma elevada qualidade do ar interior, como é o caso dos blocos operatórios, onde o risco a exposição é acrescido.

b. Identificação molecular de bactérias e fungos

Na Tabela III encontra-se listados os principais gêneros identificados por métodos moleculares. Considerou-se apresentar neste estudo os gêneros com uma ocorrência superior a 1,5%.

ABUNDÂNCIA RELATIVA DOS PRINCIPAIS GÊNEROS DE FUNGOS E BACTÉRIAS IDENTIFICADOS.

Fungos	%	Bactérias	%
<i>Penicillium</i>	34,2	<i>Staphylococcus</i>	81,1
<i>Cladosporium</i>	16,8	<i>Micrococcus</i>	10,4
<i>Rhodotorula</i>	13,9	<i>Bacillus</i>	5,0
<i>Aspergillus</i>	6,7	Outros gêneros	0,03
<i>Naganishia</i>	4,3	Não identificadas	3,4
<i>Alternaria</i>	3,3		
<i>Aureobasidium</i>	1,9		
<i>Didymella</i>	1,9		
<i>Sarocladium</i>	1,9		
Outros gêneros	7,2		
Não identificados	13,5		

Em relação aos fungos, os gêneros com maior prevalência foram *Penicillium* (34,2%), *Cladosporium* (16,8%), *Rhodotorula* (13,9%) e *Aspergillus* (6,7%). Outros autores referem apenas como gêneros mais frequentes no ar interior *Aspergillus*, *Cladosporium* e *Penicillium* [35][31][32]. A levedura *Rhodotorula* não é reportada com frequência em estudos de QAI, no entanto, um autor reportou prevalência de 1,69% deste gênero no ar interior de um ambiente hospitalar [10]. Observou-se ainda que os bolores (fungos filamentosos) foram mais frequentes quando comparados com as leveduras (fungos unicelulares), uma vez que aqueles têm uma maior capacidade para sobreviver em condições desfavoráveis

[32] [38]. Infecções pulmonares como pneumonia, infecções do trato urinário e meningite são exemplos de doenças causadas por estes gêneros de fungos [39][40][41].

No que diz respeito às bactérias, a prevalência dos gêneros *Staphylococcus* (81,1%), *Micrococcus* (10,4%) e *Bacillus* (5,0%) está de acordo com o referido por outros autores em estudos de QAI em ambiente hospitalar [26][14][24]. Além disso, estudos envolvendo outras tipologias de edifícios também referem estes gêneros como os mais abundantes no ar interior [42][43][44]. A elevada ocorrência destes gêneros está relacionada com a capacidade de sobrevivência em condições ambientais adversas, devido à presença de uma parede celular rígida e espessa constituída por peptidoglicano. Adicionalmente, o gênero *Bacillus* possui a capacidade de formar endósporos o que lhe confere uma sobrevivência acrescida às condições hostis, nomeadamente à dessecação, ao calor, às radiações, aos desinfetantes e aos antibióticos. Também o facto de *Staphylococcus* e *Micrococcus* pertencerem à flora comensal do homem [40] aumenta a frequência destes microrganismos no ar ambiente. [49] descrevem o gênero *Staphylococcus* como ambientalmente robusto, com uma alta taxa de sobrevivência em ambientes secos, como superfícies ou materiais. Algumas espécies pertencentes a este gênero, *S. aureus* e *S. epidermidis*, são referidas como agentes de infecções nosocomiais. De entre as infecções provocadas por estes gênero pode citar-se como exemplo as do trato gastrointestinal, coração e ossos, além de causar doenças como pneumonia necrosante, meningite e iniciar infecções em locais cirúrgicos [45][46][47].

CONCLUSÕES

Compreender as condições do ambiente avaliado é um requisito fundamental na tomada de decisões estratégicas para reduzir os riscos de exposição de pacientes e funcionários. Neste estudo, as características ocupacionais e arquitetônicas do bloco operatório foram analisadas e pode concluir-se que fatores como frequência de limpeza, taxa de ocupação e principalmente o sistema AVAC influenciaram significativamente nas concentrações dos parâmetros avaliados. Verificou-se que de forma indireta os níveis de PM podem servir de indicador para a degradação da qualidade do ar interior, uma vez que estes apresentaram correlação positiva ($r \geq 0,9$) com microrganismos.

De modo geral, as concentrações de bactérias, fungos e material particulado foram inferiores ao reportado por outros autores em estudos envolvendo blocos operatórios. Além disso, verificou-se que o limiar de proteção estabelecido pela Portaria 353-A/2013 foi atendido. As bactérias foram mais prevalentes quando comparado com

os fungos e nota-se ainda que as menores concentrações dos parâmetros avaliados foram observadas em ambientes com maior frequência de limpeza e com sistema AVAC. Os géneros de bactérias com maior prevalência foram *Staphylococcus*, *Micrococcus* e *Bacillus* enquanto que os géneros mais prevalentes dos fungos foram *Penicillium*, *Cladosporium* e *Rhodotorula*.

Verificou-se existir tendência para a acumulação de poluentes e degradação do ar interior na antecâmara, podendo esta influenciar na migração de poluentes para o interior do bloco operatório. De forma a minimizar o risco de exposição a pacientes e funcionários, recomenda-se a adequação arquitetónica desta zona, por meio da instalação de ventilação mecânica a fim de aumentar a renovação do ar e diluir os poluentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT, Portugal) e FEDER ao abrigo do Programa PT2020 pelo apoio financeiro ao CIMO [UID / AGR / 00690/2019]. Os autores agradecem igualmente à equipa médica, de enfermagem e funcionários do hospital pela cooperação neste estudo.

REFERENCIAS

- [1] D. Penney, V. Benignus, S. Kephelopoulos, D. Kotzias, M. Kleinman, and Agnes Verrier, "Guidelines for indoor air quality," *WHO Guidel.*, vol. 9, p. 454, 2010.
- [2] A. Asif, M. Zeeshan, I. Hashmi, U. Zahid, and M. F. Bhatti, "Microbial quality assessment of indoor air in a large hospital building during winter and spring seasons," *Build. Environ.*, vol. 135, no. March, pp. 68–73, 2018.
- [3] I. Nastase, C. Croitoru, A. Vartires, and L. Tataranu, "Indoor Environmental Quality in Operating Rooms: An European Standards Review with Regard to Romanian Guidelines," *Energy Procedia*, vol. 85, no. November 2015, pp. 375–382, 2016.
- [4] A. A. Haleem Khan and S. Mohan Karuppaiyl, "Fungal pollution of indoor environments and its management," *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 19, no. 4, pp. 405–426, 2012.
- [5] P. A. Fernandes, M. G. Silva, A. P. Cruz, and J. A. Paiva, "Prevenção e Controlo de Infeções e de Resistência aos Antimicrobianos em números – 2015," *Direção Geral da Saúde*, pp. 1–43, 2016.
- [6] J.-P. Gangneux *et al.*, "Bacterial and fungal counts in hospital air: comparative yields for 4 sieve impactor air samplers with 2 culture media.," *Infect. Control Hosp. Epidemiol.*, vol. 27, no. 11, pp. 1405–1408, 2006.
- [7] J. P. Gangneux *et al.*, "Estimation du poids épidémiologique des infections fongiques graves en France," *J. Mycol. Med.*, vol. 26, no. 4, pp. 385–390, 2016.
- [8] DGS, "Prevalência De Infeção Adquirida No Hospital E Do Hospitais Portugueses Inquérito 2012," 2013.
- [9] J. Ishigami, M. Trevisan, H. Xu, J. Coresh, K. Matsushita, and J. J. Carrero, "Estimated GFR and Hospital-Acquired Infections Following Major Surgery," *Am. J. Kidney Dis.*, vol. 73, no. 1, pp. 11–20, 2019.
- [10] A. Sepahvand, M. Shams-Ghahfarokhi, A. Allameh, and M. Razzaghi-Abyaneh, "Diversity and distribution patterns of airborne microfungi in indoor and outdoor hospital environments in Khorramabad, Southwest Iran," *Jundishapur J. Microbiol.*, vol. 6, no. 2, pp. 186–192, 2013.
- [11] K. W. Tham, "Indoor air quality and its effects on humans—A review of challenges and developments in the last 30 years (bom para a conclusão)," *Energy Build.*, vol. 130, pp. 637–650, 2016.
- [12] Y. Zhai, X. Li, T. Wang, B. Wang, C. Li, and G. Zeng, "A review on airborne microorganisms in particulate matters: Composition, characteristics and influence factors," *Environ. Int.*, vol. 113, no. January, pp. 74–90, 2018.
- [13] S. Mentese *et al.*, "Association between respiratory health and indoor air pollution exposure in Canakkale, Turkey," *Build. Environ.*, vol. 93, no. P1, pp. 72–83, 2015.
- [14] E. Baurès *et al.*, "Indoor air quality in two French hospitals: Measurement of chemical and microbiological contaminants (já li)," *Sci. Total Environ.*, vol. 642, pp. 168–179, 2018.
- [15] Centers for Disease Control and Prevention (CDC), "Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities," *U.S. Dep. Heal. Hum. Serv. Centers Dis. Control Prev. Atlanta, GA 30329*, no. 2003, pp. 1–240, 2003.
- [16] S. W. Kembel *et al.*, "Architectural design influences the diversity and structure of the built environment microbiome (Já li)," *ISME J.*, vol. 6, no. 8, pp. 1469–1479, 2012.
- [17] J. L. de Matos, "Qualidade do Ar Interior em Ambiente Hospitalar : Identificação de Poluentes, Fontes e Estratégias para a Otimização dos Serviços de Saúde," pp. 1–124, 2014.
- [18] T. Sandle, "Cleanrooms and Environmental Monitoring," *Biocontamination Control Pharm. Healthc.*, pp. 65–82, 2019.
- [19] C. Beggs, L. D. Knibbs, G. R. Johnson, and L. Morawska, "Environmental contamination and hospital-acquired infection: Factors that are easily overlooked (ruim)," *Indoor Air*, vol. 25, no. 5, pp. 462–474, 2015.
- [20] G. Settimo, "Indoor Air Quality in Healthcare Facilities," pp. 13–27, 2017.
- [21] M. Leung and A. H. S. Chan, "Control and management of hospital indoor air quality," *Med. Sci. Monit.*, vol. 12, no. 3, pp. SR17-R23, 2006.
- [22] G. Muyzer, E. C. de Waal, and A. G. Uitterlinden, "Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA.," *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 59, no. 3, pp. 695–700, 1993.
- [23] B. A. Methé *et al.*, "A framework for human microbiome research," *Nature*, vol. 486, no. 7402, pp. 215–221, 2012.

- [24] S. Cabo Verde *et al.*, “Microbiological assessment of indoor air quality at different hospital sites,” *Res. Microbiol.*, vol. 166, no. 7, pp. 557–563, 2015.
- [25] M. E. Quadros, H. de M. Lisboa, V. L. de Oliveira, and W. N. Schirmer, “Qualidade do ar em ambientes internos hospitalares: estudo de caso e análise crítica dos padrões atuais,” *Eng. Sanit. e Ambient.*, vol. 14, no. 3, pp. 431–438, 2009.
- [26] G. H. Wan, F. F. Chung, and C. S. Tang, “Long-term surveillance of air quality in medical center operating rooms,” *Am. J. Infect. Control*, vol. 39, no. 4, pp. 302–308, 2011.
- [27] A. Asif, M. Zeeshan, I. Hashmi, U. Zahid, and M. F. Bhatti, “Microbial quality assessment of indoor air in a large hospital building during winter and spring seasons,” *Build. Environ.*, vol. 135, no. March, pp. 68–73, 2018.
- [28] G. Loupa, A. M. Zarogianni, D. Karali, I. Kosmadakis, and S. Rapsomanikis, “Indoor/outdoor PM 2.5 elemental composition and organic fraction medications, in a Greek hospital,” *Sci. Total Environ.*, vol. 550, pp. 727–735, 2016.
- [29] E. Fernández *et al.*, “Second-hand smoke exposure in a sample of European hospitals,” *Eur. Respir. J.*, vol. 34, no. 1, pp. 111–116, 2009.
- [30] R. Khamal, Z. Isa, R. Sutan, N. Mohd, and R. Noraini, “Indoor Particulate Matters Microbial Count Assessments and Wheezing Symptoms among Toddlers in Urban Day Care Centers in the District of Seremban Malaysia,” vol. 85, no. 1, pp. 1–15, 2019.
- [31] H. Liu *et al.*, “Effect of air pollution on the total bacteria and pathogenic bacteria in different sizes of particulate matter,” *Environ. Pollut.*, vol. 233, pp. 483–493, 2018.
- [32] V. Bergeron, G. Reboux, J. L. Poirot, and N. Laudinet, “Decreasing Airborne Contamination Levels in High-Risk Hospital Areas Using a Novel Mobile Air-Treatment Unit,” *Infect. Control Hosp. Epidemiol.*, vol. 28, no. 10, pp. 1181–1186, 2007.
- [33] C. S. Li and P. A. Hou, “Bioaerosol characteristics in hospital clean rooms,” *Sci. Total Environ.*, vol. 305, no. 1–3, pp. 169–176, 2003.
- [34] L. Armadans-Gil, V. Rodríguez-Garrido, M. Campins-Martí, J. Gil-Cuesta, and J. Vaqué-Rafart, “Particle counting and microbiological air sampling: Results of the simultaneous use of both procedures in different types of hospital rooms,” *Enferm. Infecc. Microbiol. Clin.*, vol. 31, no. 4, pp. 217–221, 2013.
- [35] S. Borrego *et al.*, “The quality of air at archives and the biodeterioration of photographs,” *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 64, no. 2, pp. 139–145, 2010.
- [36] K. Huttunen, P. Kaarakainen, T. Meklin, A. Nevalainen, and M. R. Hirvonen, “Immunotoxicological properties of airborne particles at landfill, urban and rural sites and their relation to microbial concentrations,” *J. Environ. Monit.*, vol. 12, no. 6, pp. 1368–1374, 2010.
- [37] S. M. Knudsen, L. Gunnarsen, and A. M. Madsen, “Airborne fungal species associated with mouldy and non-mouldy buildings – effects of air change rates, humidity, and air velocity,” *Build. Environ.*, vol. 122, pp. 161–170, 2017.
- [38] E. M. Kettleon, A. Adhikari, S. Vesper, K. Coombs, R. Indugula, and T. Reponen, “Key determinants of the fungal and bacterial microbiomes in homes,” *Environ. Res.*, vol. 138, pp. 130–135, 2015.
- [39] S. S. Y. Wong *et al.*, “Differences in clinical and laboratory diagnostic characteristics of penicilliosis marneffeii in human immunodeficiency virus (HIV)- and non-HIV-infected patients,” *J. Clin. Microbiol.*, vol. 39, no. 12, pp. 4535–4540, 2001.
- [40] D. M. Dixon and A. Polak-Wyss, “The medically important dematiaceous fungi and their identification,” *Mycoses*, vol. 34, no. 1–2, pp. 1–18, 2009.
- [41] U. Braun and K. Schubert, “Taxonomic revision of the genus *Cladosporium* s. lat. 1. Species reallocated to *Fusicladium*, *Parastenella*, *Passalora*, *Pseudocercospora* and *Stenella*,” *Mycol. Prog.*, vol. 4, no. 2, pp. 101–109, 2005.
- [42] A. M. Madsen, S. Moshehi-Jenabian, M. Z. Islam, M. Frankel, M. Spilak, and M. W. Frederiksen, “Concentrations of *Staphylococcus* species in indoor air as associated with other bacteria, season, relative humidity, air change rate, and *S. aureus*-positive occupants,” *Environ. Res.*, vol. 160, no. October 2017, pp. 282–291, 2018.
- [43] A. H. Awad, Y. Saeed, Y. Hassan, Y. Fawzy, and M. Osman, “Air microbial quality in certain public buildings, Egypt: A comparative study,” *Atmos. Pollut. Res.*, vol. 9, no. 4, pp. 617–626, 2018.
- [44] Z. Xie *et al.*, “Characteristics of total airborne microbes at various air quality levels,” *J. Aerosol Sci.*, vol. 116, pp. 57–65, 2018.
- [45] A. K. Labi *et al.*, “Multi-centre point-prevalence survey of hospital-acquired infections in Ghana,” *J. Hosp. Infect.*, vol. 101, no. 1, pp. 60–68, 2019.
- [46] C. A. Umscheid, M. D. Mitchell, J. A. Doshi, R. Agarwal, K. Williams, and P. J. Brennan, “Estimating the Proportion of Healthcare-Associated Infections That Are Reasonably Preventable and the Related Mortality and Costs,” *Infect. Control Hosp. Epidemiol.*, vol. 32, no. 02, pp. 101–114, 2011.
- [47] S. Y. C. Tong, J. S. Davis, E. Eichenberger, T. L. Holland, and V. G. Fowler, “*Staphylococcus aureus* infections: epidemiology, pathophysiology, clinical manifestations, and management,” *Clin. Microbiol. Rev.*, vol. 28, no. 3, pp. 603–61, 2015.
- [48] White, T. J., T. D. Bruns, S. B. Lee, and J. W. Taylor. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA Genes for phylogenetics
- [49] Dietze B, Rath A, Wendt C, Martiny H. Survival of MRSA on sterile goods packaging. *J Hosp Infect.* 2001; 49(4):255-61.

Sales and prices of still wine from the Portuguese wine regions: Insights for entrepreneurship plans

Vítor João Pereira Domingues Martinho

*Agricultural School (ESAV) and CI&DETS
Polytechnic Institute of Viseu (IPV)
Viseu, Portugal*

*Centre for Transdisciplinary Development Studies (CETRAD)
University of Trás-os-Montes and Alto Douro (UTAD)
Vila Real, Portugal
vdmartinho@esav.ipv.pt*

Abstract—For any entrepreneurship plan in any sector it is important to find new ideas and create innovation, but the profitability of the plan and the acceptance by the market should be a concern for the several stakeholders. Specifically for the wine sector, the prices play here a relevant role, namely because it seems that there is margin in Portugal to increase the prices with good and adjusted plans, considering the Portuguese wine tradition and its quality. In fact, in the wine markets promote strategies with low prices may be not a good approach, considering the preferences and perceptions of the wine consumers. In this context, the main objective of this research is to analyse how much the several Portuguese wine regions may increase the prices. To achieve this objective it was considered a benchmarking approach between the regions. The results show that there is margin to increase the prices in the majority of the Portuguese wine regions and this is more pertinent in smaller regions and with lower levels of production, because in these cases the problems of profitability may be more pronounced.

Keywords— *Strategic plans, Benchmarking, Markets.*

V. INTRODUCTION

The characteristics of each region are determinant for the quality of the grapes obtained and, consequently, of the resulting wine and the respective prices [1]. The recent tendency is privilege the quality in detriment of the quantity and has been implications in the increase of the wine prices practiced in the markets [2]. In fact, the wine prices depend on the producer characteristics and skills, climate conditions, organizational contexts, technology available and economic conjuncture [3]. The demand profile (characteristics, sensitivity and perceptions) has, too, influence on the market prices of wine [4].

In any case it is a concern for the several stakeholders find an optimal wine price in a set of different variables that may influence this process of optimization [5]. In some cases, it is important search for the minimum selling prices to analyse the profitability of the all process [6]. On the other hand, there are contexts where

the main objective is to reduce the prices to make the wine available for the available to the common population at low costs [7].

VI. DATA ANALYSIS

The information used in this study, for the Portuguese wine regions since the first quarter of 2014 until the first quarter of 2017, was obtained from IVV [8] and was worked through the DEAP [9] software for the optimizations (base on efficiency approaches) and the Stata [10] for the regressions. Of highlighting that the information available in the IVV [8] is based on data from Nielsen.

The tables 1 and 2 show the summary statistics for the variable used (sales and prices of Portuguese still wine). In average the Portuguese wine regions sold 4142038 litres of still wine in the domestic market at an average price of 4.39 euros. On the other hand, the table 3 reveals that there is a negative, confirmed by the figure 1, and statistically significant, relationship between the sales and the prices of Portuguese still wine in the domestic markets (distribution and horeca). The figures 2, 3 and 4 present that the not certified wine is the most consumed and the prices are higher namely for the Algarve wine.

Table 1. Summary statistics about the sales of still wine (litres), from the Portuguese wine regions, in the distribution and horeca (hotels, restaurants and cafés), since the first quarter of 2014 until the first quarter of 2017

Variable	Observations	Mean	Standard Deviation	Min	Max
Sales of still wine	182	4142038	8623902	-197802	3.74E+07

Table 2. Summary statistics about the prices of still wine (euros/litre), from the Portuguese wine regions, in the distribution and horeca (hotels, restaurants and cafés), since the first quarter of 2014 until the first quarter of 2017

Variable	Observations	Mean	Standard Deviation	Min	Max
Prices of still wine	182	4.393942	2.86158	0.386185	14.25036

Table 3. Matrix pairwise between the sales (litres) and the prices (euros/litre) of still wine, from the Portuguese wine regions, in the distribution and horeca (hotels, restaurants and cafés), since the first quarter of 2014 until the first quarter of 2017

	Sales of still wine	Prices of still wine
Sales of still wine	1.000	
Prices of still wine	-0.247*	1.000
	(0.001)	

Note: *, statistical significant at 5%.

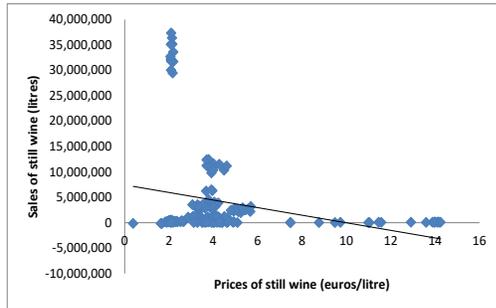


Fig. 1. Linear demand relationship between the sales (litres) and the prices (euros/litre) of still wine, from the Portuguese wine regions, in the distribution and horeca (hotels, restaurants and cafés), since the first quarter of 2014 until the first quarter of 2017

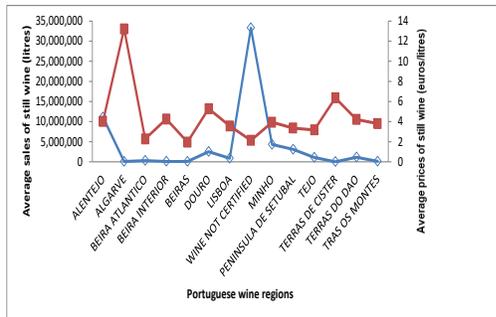


Fig. 2. Distribution of the sales (litres) and the prices (euros/litre) of still wine, across the Portuguese wine regions, in the distribution and horeca (hotels, restaurants and cafés), in average over the period since the first quarter of 2014 until the first quarter of 2017

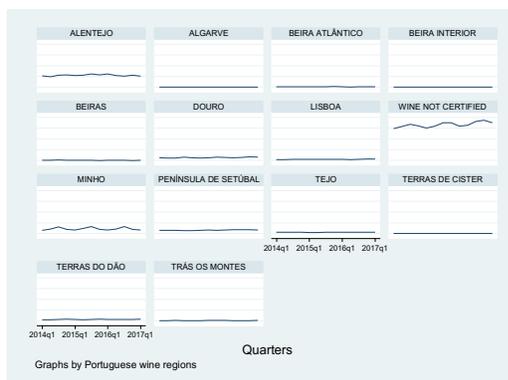


Fig. 3. Evolution of the sales of still wine (litres), across the Portuguese wine regions, in the distribution and horeca (hotels, restaurants and cafés), over the period since the first quarter of 2014 until the first quarter of 2017

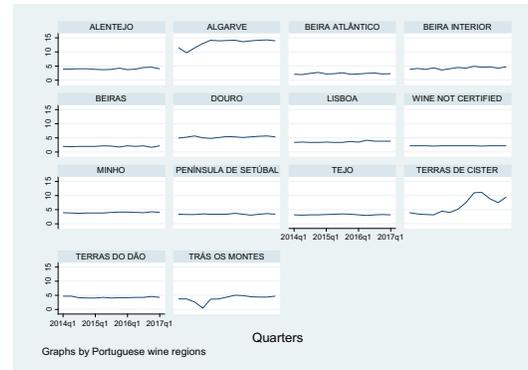


Fig. 4. Evolution of the prices of still wine (euros/litre), across the Portuguese wine regions, in the distribution and horeca (hotels, restaurants and cafés), over the period since the first quarter of 2014 until the first quarter of 2017

VII. RESULTS

The table 4 confirms the negative relationship between the sales and the prices of Portuguese still wine, in the domestic markets, with a demand-price elasticity of -1.653 (relatively elastic, showing great relatively high negative reaction of the sales to the prices change).

The table 5, for the efficiency analysis among the sales of wine and the respective prices (it was used the inverse of the prices as input to solve the problem of minimization of the input in this kind of approaches), reveals that the Alentejo and Algarve Portuguese wine regions from the south of the country were considered by the model as the main benchmarks (peers).

From the efficiency analysis, they were obtained the optimized wine prices for the Portuguese regions presented in the table 6. The Alentejo and Algarve regions, as peers, maintained their original prices and the others regions need to improve the prices to be competitive.

Table 4. Regression, in panel data, between the logarithm of sales (litres) and the logarithm of prices (euros/litre) of still wine, across the Portuguese wine regions, in the distribution and horeca (hotels, restaurants and cafés), over the period since the first quarter of 2014 until the first quarter of 2017

Model	Cross-sectional time-series FGLS regression
Constant	15.648* (33.470) [0.000]
Logarithm of prices of still wine	-1.653* (-5.090) [0.000]
Hausman test	4.390 [0.111]
Pesaran's cross-sectional dependence	4.560* [0.000]
Modified Wald test for groupwise	10764.740* [0.000]
Wooldridge serial correlation LM test	23.689* [0.000]

Note: *, statistical significant at 5%.

Table 5. Efficiency analysis between the sales (in litres, as output) and the prices (in euros/litre, considered as input the inverse of the prices) of still wine, across the Portuguese wine regions, in the distribution and horeca (hotels, restaurants and cafés), in average over the period since the first quarter of 2014 until the first quarter of 2017

Portuguese wine regions	Peers	Peer weights	Peer count
1 (Alentejo)	1	1.000	9
2 (Algarve)	2	1.000	11
3 (Beira Atlântico)	1	2	0.020 0.980
4 (Beira Interior)	1	2	0.002 0.998
5 (Beiras)	2	1.000	0
6 (Douro)	1	2	0.223 0.777
7 (Lisboa)	1	2	0.071 0.929
8 (Minho)	1	2	0.384 0.616
9 (Península de Setúbal)	1	2	0.273 0.727
10 (Tejo)	1	2	0.091 0.909
11 (Terras de Cister)	2	1.000	0
12 (Terras do Dão)	1	2	0.097 0.903
13 (Trás os Montes)	1	2	0.003 0.997

Table 6. Optimized prices of still wine, considering concepts of efficiency, across the Portuguese wine regions, in the distribution and horeca (hotels, restaurants and cafés), in average over the period since the first quarter of 2014 until the first quarter of 2017

Portuguese wine regions	Original price of still wine	Efficient price of still wine
1 (Alentejo)	4.000	4.000
2 (Algarve)	12.500	12.500
3 (Beira Atlântico)	2.273	12.048
4 (Beira Interior)	4.167	12.500
5 (Beiras)	1.961	12.500
6 (Douro)	5.263	8.475
7 (Lisboa)	3.571	10.870
8 (Minho)	4.000	6.897
9 (Península de Setúbal)	3.333	7.937
10 (Tejo)	3.125	10.526
11 (Terras de Cister)	6.250	12.500

12 (Terras do Dão)	4.167	10.309
13 (Trás os Montes)	3.846	12.346

VIII. CONCLUSIONS

There are relevant differences in the average prices practiced in the distribution and horeca between the Portuguese wine regions, since the lower ones in the Beiras region until the higher in the Algarve region. With exception for the Algarve region, some smaller have lower prices and this may be a problem for the profitability of the producers/sellers compromising the sustainability of these regions.

On the other hand, when the Portuguese wine regions are benchmarking between each other, the results show that Alentejo (as a large region) and Algarve (as a small region) were considered by the model as benchmark regions. This approach reveals, also, that the smaller regions should improve the strategic plans to increase the prices, improving, in this way, the profitability and the consumers' perceptions.

Questions related with the quality, new ideas, innovation and adjusted entrepreneurship plans play here a relevant role. The strategy here should be focused on the perceptions of the consumers about the wine from the smaller Portuguese wine regions, promoting, namely, a better positioning that allows to practice higher prices.

ACKNOWLEDGMENTS

This work is financed by national funds through FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., under the project UID/Multi/04016/2019. Furthermore we would like to thank the Instituto Politécnico de Viseu and CI&DETS for their support.

This work is supported, also, by national funds, through the FCT – Portuguese Foundation for Science and Technology under the project UID/SOC/04011/2019.

Of highlighting that the information available in the IVV (2017), and here considered, is based on data from Nielsen.

REFERENCES

- [1] O. Ashenfelter, 'The Hedonic Approach to Vineyard Site Selection: Adaptation to Climate Change and Grape Growing in Emerging Markets', *J. Wine Econ.*, vol. 12, no. 1, pp. 3–15, Feb. 2017.

- [2] R. Iannone, S. Miranda, S. Riemma, and I. De Marco, 'Improving environmental performances in wine production by a life cycle assessment analysis', *J. Clean. Prod.*, vol. 111, pp. 172–180, Jan. 2016.
- [3] B. Aytac, T.-H.-V. Hoang, and C. Mandou, 'Wine: To drink or invest in? A study of wine as an investment asset in French portfolios', *Res. Int. Bus. Finance*, vol. 36, pp. 591–614, Jan. 2016.
- [4] A. Herbon, 'Optimal Pricing and Replenishment of an Expiring Inventoried Product under Heterogeneous Consumer Sensitivities', *Decis. Sci.*, vol. 49, no. 3, pp. 522–552, Jun. 2018.
- [5] G. Coqueret, 'Optimal Wine Pricing for Restaurants', *J. Wine Econ.*, vol. 10, no. 2, pp. 204–224, Nov. 2015.
- [6] C. Dimou, A. Vlysidis, N. Kopsahelis, S. Papanikolaou, A. A. Koutinas, and I. K. Kookos, 'Techno-economic evaluation of wine lees refining for the production of value-added products', *Biochem. Eng. J.*, vol. 116, pp. 157–165, Dec. 2016.
- [7] P. Nikhanj and G. S. Kocher, 'Statistical optimization of ethanol fermentation parameters for processing local grape cultivars to wines', *J. Food Process. Preserv.*, vol. 42, no. 1, p. e13319, Jan. 2018.
- [8] IVV, 'Mercado Nacional', IVV, 2017. [Online]. Available: <http://www.ivv.gov.pt/np4/home/8909.html>. [Accessed: 31-Dec-2017].
- [9] DEAP, 'Software', School of Economics, 23-Jan-2018. [Online]. Available: <https://economics.uq.edu.au/cepa/software>. [Accessed: 14-Oct-2018].
- [10] Stata, 'Stata: Software for Statistics and Data Science', 2018. [Online]. Available: <https://www.stata.com/>. [Accessed: 14-Oct-2018].

Cualidades Térmicas Del Sillar De Arequipa Perú

Luis Carlos Sosa, Edgar Montalvo, Karin Neira

Luis Carlos Herrera Sosa
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Ciudad Juárez, Chihuahua. México
carlos.herrera@uacj.mx

Edgar Elías Villena Montalvo
Universidad Nacional de San Agustín de
Arequipa
Arequipa, Perú
evillena@unsa.edu.pe

Karin Rosario Rodríguez Neira
Universidad Nacional de San Agustín de
Arequipa
Arequipa, Perú
krodriguezn@unsa.edu.pe

Resumen—*El Sillar es el nombre común de la Ignimbrita en el Perú, se ha utilizado tradicionalmente como sistema constructivo en muros y cubiertas, y de acuerdo con el conocimiento popular cumple satisfactoriamente con los requerimientos de confort térmico de la región de Arequipa. No obstante, que al Sillar se le ha analizado sus cualidades mecánicas y sus componentes fisicoquímicos, no se ha estudiado y por lo tanto se desconocen, los valores de sus cualidades térmicas, que permitan establecer con claridad cuáles son sus virtudes y posibilidades reales de uso en el clima Mesoandino. Este clima se caracteriza por temperaturas templadas y frías durante todo el año, lo que obliga a los habitantes de esa región andina a diseñar y construir envolventes arquitectónicas que respondan de manera adecuada al intercambio térmico con el medio ambiente circundante. El presente documento reúne los resultados del proyecto de investigación: “Evaluación del Comportamiento Térmico del Sillar de la Provincia de Arequipa, para su Aplicación como Material de Construcción que Permita Reducir el Consumo Energético y Optimizar el uso de Energías Pasivas”, que tuvo la finalidad de conocer las cualidades térmicas del Sillar a partir de obtener los datos de conductividad, densidad y calor específico. La metodología aplicada consistió en analizar en dos laboratorios certificados de México muestras del Sillar blanco y rosa para conocer sus valores térmicos. Con los resultados de ese análisis se calcularon los valores de Transmitancia térmica, Resistencia térmica, Tiempo de Retraso y amortiguamiento del Sillar colocado en los espesores de uso más común en la región (Canto y Soga) para verificar si cumplen con lo que el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú solicita. Los resultados de la investigación demostraron que ambos acomodados cumplen satisfactoriamente con lo que solicita la reglamentación y tiene otros atributos térmicos que la reglamentación no contempla.*

Palabras claves— *Cualidades térmicas; Sillar; Evaluación Térmica*

◦ INTRODUCCIÓN

El presente documento muestra los resultados del análisis térmico que se realizó al material de construcción denominado Sillar, enmarcado dentro del proyecto de investigación: “Evaluación del Comportamiento Térmico del Sillar de la Provincia de Arequipa, para su Aplicación como Material de Construcción que Permita Reducir el Consumo Energético y Optimizar el uso de Energías Pasivas”,

financiado por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa Perú.

Sillar es una vieja palabra española, usada en arquitectura, que viene a significar un tipo de piedra labrada, por lo común en forma de paralelepípedo rectángulo, que forma parte de un muro de sillería [...]. El término Sillar alcanzó raigambre y nombre propio en Perú. Al punto de que la palabra entró como peruana de origen en la terminología geológica internacional y como tal fue rescatada en las últimas ediciones del Glossary of Geology, diccionario internacional de la materia. [1]

El Sillar es una roca piroplástica de flujos de ceniza no soldadas que cubre grandes extensiones del flanco occidental andino del Perú. Existen un gran número de depósitos de flujos piroplásticos bajo el nombre de Sillar o piedra Sillar, que es una denominación exclusivamente local para la ignimbrita, formado a partir de cenizas volcánicas o nubes ardientes, endurecidas por recristalización debido al escape de gases. [4]

La ignimbrita es una roca volcánica fragmentaria procedente del depósito y consolidación de coladas piroclásticas originadas en erupciones explosivas. Para algunos autores se trata de depósitos originados por coladas piroclásticas de pómez y ceniza. Para otros, se trata de depósitos de coladas piroclásticas de pómez y ceniza soldados, en cuyo proceso de compactación se forman flamas. [9]

El Sillar es un material que tiene la característica de poder ser cortado fácilmente en bloques de distintos tamaños, los cuales son livianos, blancos y cómodos de tallar. Ha sido empleado extensamente como material de construcción en la ciudad de Arequipa y zonas aledañas en una tradición constructiva que se remonta a las culturas preincaicas cuando los primeros pobladores de la región lo emplearon para elaborar petroglifos y pictogramas.

El conjunto de sus propiedades constructivas y la accesibilidad en su obtención, hizo que los españoles para los siglos XVI y XVII comenzaran a utilizar el Sillar en bóvedas, generalizándose su uso en los siglos

XVIII y XIX masificándose en lo que hoy es el Centro Histórico de Arequipa.

El sillar adquirió su mejor expresión en Arequipa, ciudad emblemática del sur del Perú, conocida como la “Ciudad Blanca”. Lleva ese nombre por haber sido construida enteramente de Sillar, cuya coloración es blanca al ser cortada de la roca madre.

En la actualidad se continúa empleando el Sillar en menor escala, principalmente en las zonas marginales, al inicio del proceso de construcción de viviendas y de manera particular como revestimiento para darle un acabado tradicional en edificaciones en el centro histórico de Arequipa.

Los estudios del Sillar o Ignimbrita por lo general se han enfocado en conocer y analizar sus propiedades de resistencia mecánica, lo cual ha sido de manera especial en la zona de Arequipa, debido a que se ubica en la región de mayor actividad sísmica del Perú. [3]

Otros estudios del Sillar se han realizado por parte del Instituto Nacional de Investigación y Normalización de Vivienda del Perú (ININVI), pero enfocados exclusivamente en las propiedades físicas, mecánicas y químicas del Sillar [5], dejando de lado sus propiedades térmicas.

Fue hasta 1980 cuando Daniel Meilán señalaba en la Universidad Nacional de Salta que las características del Sillar (ignimbritas) tenían una serie de propiedades físicas que los hacían útiles en construcción, debido a que eran livianos y fáciles de manejar, tanto para su transporte, como para su colocación. Incluso comentó que por su estructura interna son un aislante natural de la temperatura. También comentó que la ignimbrita o Sillar tiene propiedades acústicas que impiden o disminuyen la transmisión de ruidos entre los distintos ambientes y el exterior. Además de ser ignífugas con lo cual no son afectadas por el fuego o un incendio. [1]

Como se ha dicho, por su estructura interna el Sillar se considera que es un aislante natural de la temperatura, sin embargo, son pocos los estudios que profundicen en sus propiedades térmicas. Uno de los estudios que profundizan al respecto fue el realizado por el M. en Arq. Josué Llanque [5] obtuvo mediante un método empírico un valor de conductividad de 0.466 W/m K de una muestra de Sillar Blanco.

Pero conjuntamente con el valor de la conductividad del Sillar es necesario conocer los valores su calor específico y densidad, para con ello determinar la inercia térmica del material, porque en un clima semi-frío a frío como el de Arequipa resulta ser una de las propiedades térmicas más importantes, pues permite amortiguar y

retrasar la pérdida de calor y permitir el almacenamiento de energía durante el día.

A. Diagnóstico bioclimático

El departamento de Arequipa se encuentra al sur de Perú. Limita al norte con Ayacucho, Apurímac y Cuzco, al este con Puno, al sureste con Moquegua, al oeste con el océano Pacífico y al noroeste con Ica. Su capital, la ciudad de Arequipa, se ubica en las coordenadas geográficas de $16^{\circ}23'56''$ latitud sur, $71^{\circ}32'13''$ longitud oeste y a una altitud media de 2,335 msnm (ver fig 1).



Fig 1. Localización de la ciudad de Arequipa. Fuente: elaboración autores.

De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones (2016), la ciudad de Arequipa se localiza en la zona climática 4- Mesoandino. Esta zona se caracteriza por tener un clima de semi-frío a frío, con terreno semi-seco a lluvioso. Presenta temperaturas promedio anual de 12°C , humedades relativas de 30 a 50% y una precipitación pluvial de 3,000 a 4,000mm en promedio. De acuerdo con la caracterización climática de Köppen se ubica en Dwb.

El diagnóstico bioclimático de Arequipa define dos temporadas climáticas, temporada de verano y la temporada de invierno. La primera temporada tiene una duración de diciembre a marzo, y se caracteriza por ser una estación de clima templado y subhúmedo. Sus principales indicadores son: temperatura promedio de 15.5°C , humedad relativa promedio de 57.2% y una radiación sobre superficie horizontal promedio de $5,130 \text{ Wh/m}^2$. La segunda temporada transcurre de abril a noviembre y se caracteriza por ser una estación de clima frío y semi seco. Sus principales indicadores son: temperatura promedio de 14.3°C , humedad relativa

promedio de 39.3% y una radiación sobre superficie horizontal promedio de 4,994 Wh/m².

El diagnóstico bioclimático nos indica que para el clima de mesoandino de Arequipa las estrategias de climatización pasiva para alcanzar niveles de confort por medios pasivos aceptables al interior de una edificación son las siguientes: (ver fig 2)

- Ganancia solar pasiva. Consiste en permitir la penetración de la energía durante la mañana y tarde a través de los elementos transparentes de la envolvente arquitectónica durante todo el año.
- Protección solar. Consiste en controlar la ganancia de radiación solar de las horas de mediodía durante todo el año.
- Ganancias de calor internas. Consiste en propiciar la generación de calor al interior de las edificaciones durante la noche todo el año.
- Protección de viento. Consiste en evitar y/o controlar la ventilación natural durante la noche y horas tempranas de la mañana durante todo el año.
- Uso de materiales con masa térmica alta con un tiempo de retraso de 10 horas. Consiste en propiciar el uso de materiales de alta inercia térmica expuestos a la ganancia de radiación solar de acuerdo con la estrategia de ganancia solar pasiva, para permitir el almacenamiento de calor durante el día y su posterior aprovechamiento durante la noche.
- Aislamiento selectivo. Consiste en disminuir la ganancia o pérdida de calor a través de pisos, muros y cubiertas durante todo el día, mediante el uso de materiales de baja conductividad térmica y resistencia térmica alta.

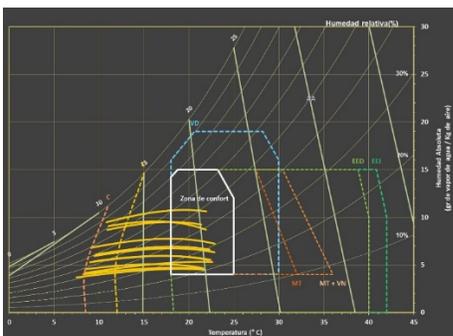


Fig 2. Carta bioclimática para interiores. Fuente: elaboración propia, en base al software Bioarq2016.

B. Objetivos

1.- Objetivo general

El Sillar piedra de origen volcánico ha sido utilizado históricamente en las edificaciones de Arequipa. Su uso ha sido para diversos componentes constructivos de cubiertas, muros, pisos e incluso ornamental. En muros se ha utilizado con diferentes colocaciones y espesores, sin considerar sus propiedades térmicas para la decisión, sólo por lo que el conocimiento empírico del material y la tradición heredada refiere.

Por ello el objetivo principal de este proyecto de investigación fue conocer y obtener los valores de conductividad, resistencia térmica y calor específico, para poder calcular la transmitancia térmica, resistencia térmica, amortiguamiento y tiempo de retraso del material. Con los resultados comparar si el material Sillar cumple con lo que la normatividad vigente en aspectos térmicos de Arequipa solicita.

2.- Objetivos específicos:

1. Obtener los valores térmicos de: conductividad, calor específico y densidad del sillar.
2. Calcular la transmitancia y resistencia térmica del Sillar y verificar si cumple con la normatividad vigente del Perú.
3. Calcular el tiempo de retardo y amortiguamiento del Sillar para conocer el efecto de la inercia térmica del material.

f. PARTE EXPERIMENTAL

A. Metodología

La metodología utilizada para conocer las cualidades térmicas del Sillar se desarrolló en cuatro fases o etapas principales:

1. Obtener en laboratorio los valores de conductividad térmica en W/m K, la densidad en Kg/m³ y el calor específico en J/Kg °C de muestras del Sillar blanco y Rosa.
2. Con los resultados obtenidos en laboratorio, calcular los valores de resistividad en m K/W, el calor específico volumétrico en Kj/m³°C, la transmitancia térmica en W/ m² K y la resistencia térmica en m² K/W del Sillar rosa y blanco en las dos formas de colocación más común en la tradición constructiva de Arequipa: Soga y Canto.
3. En esta etapa se calculó el desfase o tiempo de retraso en horas y el amortiguamiento en porcentaje para conocer el efecto que tiene la inercia térmica del material.
4. Por último, se discutieron y compararon los resultados de las etapas anteriores con respecto a la normatividad vigente.

B. Análisis de la conductividad térmica (λ), densidad (ρ) y calor específico (C_p).

Para obtener los valores de la propiedad de conductividad térmica, densidad y calor específico, se enviaron muestras del material Sillar de color blanco y rosa a dos laboratorios en México para su análisis.

Al laboratorio Novidesa de la Petroquímica IDESA ubicado en Tlaxcala México, se mandaron dos muestras del Sillar Blanco para el análisis de la densidad y conductividad térmica (ver fig 3).



Fig 3. Muestra del Sillar Blanco enviada al laboratorio.
Fuente: Foto tomada por los autores.

Este laboratorio está acreditado a partir de 2011-04-27 por la Entidad Mexicana de Acreditación, A.C. (EMA) con número de acreditación C-0061-008/11. La acreditación fue otorgada bajo la norma NMX-Ec-17025-IMNC-2006 y la ISO 17025:2005, que en México son requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración.

La determinación de la densidad del Sillar se hizo mediante el método de prueba MP-950, que está referenciada a la NMX-C-126-ONNCCE-2010. Industria de la Construcción- Materiales Termoaislantes en forma de bloque o placa- determinación de las Dimensiones y Densidad. El acondicionamiento de los especímenes fue de 24 horas a 105°C.

La determinación de la transmisión térmica del Sillar está referenciada a la NMX-C-181-ONNCCE-2010. Industria de la Construcción- Materiales termoaislantes- Determinación de la Transmisión Térmica en Estado Estacionario (Medidor del Flujo del Calor). El equipo utilizado para ello fue un Medidor de Flujo de Calor HFM-436/3/1 ER con Fecha última de calibración: 2017-02-15.

Al laboratorio del Centro de Investigación de Materiales Avanzados de Chihuahua, México (CIMAV) se mandaron una muestra de Sillar Blanco para el

análisis del calor específico y dos muestras de Sillar Rosa para el análisis de la densidad, calor específico y conductividad térmica.

El análisis de la conductividad térmica (k) se llevó a cabo en un analizador de conductividad térmica, modelo 2022 de la marca UNITHERM. La muestra se acondicionó a las medidas de la probeta requerida (cilindros de 5.1 cm de diámetro). La determinación se realizó con referencia a la Norma ASTM-E-1530. Los estándares de calibración utilizados fueron: acero inoxidable, placa de Vespel y vidrio Pirex. Las mediciones se realizaron por duplicado a temperatura de 35 °C aproximadamente.

El estudio del calor específico se hizo por el método de prueba estándar para la Determinación de la capacidad calorífica (C_p) mediante el análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC). Este análisis consiste en someter la muestra a un calentamiento programado registrando las reacciones endo/exotérmicas que van ocurriendo. La determinación se llevó a cabo en un calorímetro diferencial de la marca TA Instruments, modelo Q 200 en las siguientes condiciones: rampa de calentamiento, flujo de Nitrógeno de 50cm³/min utilizando el método modulado. El equipo se calibro con estándares metálicos de Indio y Zinc, de acuerdo con la norma ASTM D 3418.

La determinación de la densidad se hizo utilizando el método de medición mediante el desplazamiento de líquidos (método de Arquímedes), a una temperatura ambiente de 25°C. El equipo utilizado fue una balanza analítica modelo Explorer de la marca Ohaus en tres lecturas. Los líquidos utilizados fueron: agua destilada con densidad de 1.02888g/cm³, determinada con picnómetro.

C. Cálculo de la transmitancia y resistencia térmica

Para el cálculo de la transmitancia térmica (U) el Reglamento Nacional de Edificaciones Nacional del Perú [6] (2016), establece como resistencia superficial externa 0.11 W/m² K y como resistencia superficial interna 0.06 w/m² K (ver fig 4).

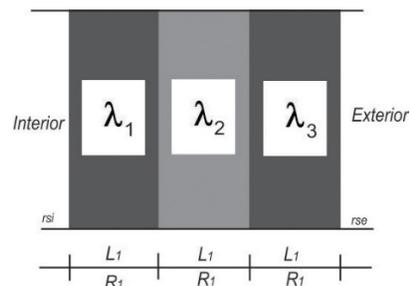


Fig 4. Cálculo de resistencia térmica. Fuente: elaboración propia en base a la NMX-C-460 ONNCE-2009

Utilizando la ecuación para el cálculo de la resistencia térmica de materiales homogéneos, se analizaron las dos principales formas de utilización del Sillar como material de construcción: Canto y Soga, de 0.19m y 0.30m de espesor respectivamente, sin considerar juntas constructivas. Para el cálculo se consideró el promedio de los resultados de cada uno de los laboratorios.

$$R_t = r_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + r_{se} = 1/h_i + L/\lambda_1 + L_2/\lambda_2 + \dots + 1/h_e \quad (1)$$

Donde:

R_t = resistencia total del material y/o sistema constructivo en $m^2 K/W$

R = Resistencia del primer componente del sistema constructivo o material en $m^2 K/W$

r_{si} = Resistencia superficial interior

r_{se} = Resistencia superficial exterior

h_i = 16.67 $w/m^2 K$

h_e = 9.09 $w/m^2 K$

L = espesor del material en m

λ = conductividad del material en $W/m K$

Con el cálculo de la resistencia térmica (R) se obtiene la transmitancia térmica (U):

$$U = 1/R_t \quad (2)$$

Donde:

U = Transmitancia térmica en $W/m^2 K$

R_t = Resistencia térmica en $m^2 K/W$

D. Efecto de la inercia térmica

La inercia térmica es la propiedad que tiene un material que indica la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con la lo cede o absorbe. Depende de la conductividad, densidad, calor específico, amortiguamiento y retraso térmico. Los materiales que tienen esa característica son los materiales pesados y con mucha masa, por ello se conoce también como masa térmica.

El retraso o retardo térmico es el tiempo transcurrido que toma una envolvente en dejar pasar el calor desde una de sus caras hacia su cara opuesta y se expresa en horas. Para su cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\Phi = 1.38e\sqrt{CV/\kappa} \quad (3)$$

Donde:

Φ = Retraso desfase térmico en horas

e = Espesor del material en m

C_v = Calor específico volumétrico en calorías

K = Conductividad térmica en calorías

El amortiguamiento térmico es igual a la relación entre la temperatura superficial exterior máxima y la interior máxima. El método gráfico para el cálculo del amortiguamiento inicia con el cálculo de la constante de tiempo con la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{1}{3600} \sum_1^n C_{v1}e1 \left[\frac{1}{h_o} + \frac{1}{2}e1r1 \right] + C_{v2}e2 \left[\frac{1}{h_o} + e1r1 + \frac{1}{2}e2r2 \right] + C_{vne}n \left[\frac{1}{h_o} + e1r1 + \dots + \frac{1}{2}enrn \right] + \dots \quad (4)$$

Donde:

θ = Constante de tiempo

e = Espesor del material en m

C_v = Calor específico volumétrico en J/m^3

r = resistividad térmica del material

h_o = 9.09 $w/m^2 K$

Al obtener la constante de tiempo ésta se ubica en el nomograma para el cálculo del retraso térmico y amortiguamiento de los materiales. (ver fig5)

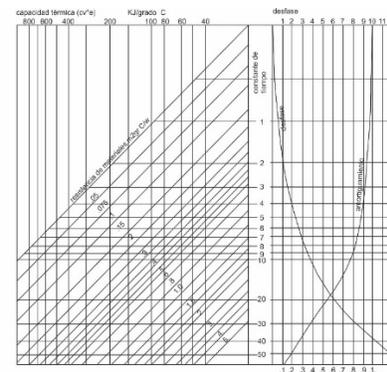


Fig 5. Nomograma para el cálculo de retraso y amortiguamiento térmico de los materiales. Fuente: elaboración propia en base a nomograma de Ecodiseño. [11]

RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

Los valores de conductividad del Sillar Blanco tienen una variación desde 0.18 a 0.33 $W/m K$, es decir 0.26

W/m K en promedio, mientras que el del Sillar Rosa es de 0.43 W/m K en promedio.

La densidad del Sillar Blanco es menor que el del Sillar Rosa en un 26%. En tanto que en el calor específico del Sillar Rosa es un 11.66% mayor en comparación con el Sillar Blanco (ver tabla 1).

Tabla 1. Valores de las propiedades térmicas del Sillar.

Sillar		Blanco		Rosa
Densidad	Kg/m ³	1314.85		1658
λ = Conductividad	W/m K	0.18	0.33	0.43
	Kcal/mhr°C	0.15	0.28	0.37
r= Resistividad	m K/W	5.66	3.04	2.34
Ce = Calor específico	J/Kg°C		463.75	415.29
Cv = Calor específico volumétrico	Kj/m ³ °C	609.76		688.55
	Kcal/m ³ °C	145.63		164.45
Laboratorio		NOVIDESA	CIMAV	CIMAV

La transmitancia térmica del Sillar Blanco colocado en Canto tiene valores de cálculo de 1.338 a 0.803 W/m² K, menor en un 17.56 a 50.52% con respecto al Sillar Rosa que obtuvo un valor de 1.623 W/m² K respectivamente. El colocado en Soga del Sillar Blanco tiene valores de 0.924 a 0.535 W/m² K, menor en un 19.37 a 53.31% con respecto al Sillar Rosa respectivamente (ver tabla 2).

Tabla 2. Cálculo de Transmitancia y Resistencia Térmica del Sillar

Sillar		Resistencia Térmica (R) m ² K/ W		Transmitancia Térmica (U) W/m ² K	
Blanco	Canto	1.245*	0.748**	0.803*	1.338**
	Soga	1.868*	1.082**	0.535*	0.924**
Rosa	Canto	0.615**		1.623**	
	Soga	0.873**		1.146**	

* NOVIDESA

** CIMAV

El retraso térmico del Sillar Blanco colocado en Soga es de 9.44 a 12.90 horas, mayor en un 7.32 a 32.40% con respecto al Sillar Rosa que es de 8.72 horas respectivamente. El colocado en canto del Sillar Blanco tiene valores de 5.97 a 8.16 horas, mayor en un 7.37 a 32.23% respectivamente (ver tabla 3).

Tabla 3. Cálculo del retraso térmico del Sillar.

Sillar	Retraso térmico	Hrs.	
Blanco	Soga	12.90*	9.44**
	Canto	8.16*	5.97**
Rosa	Soga	8.72**	
	Canto	5.53**	

El amortiguamiento del Sillar Blanco colocado en canto es de 0.20 a 0.45 mientras que el colocado en soga es de 0.55 a 0.75. El amortiguamiento del Sillar Rosa colocado en canto es de 0.50 y en soga de 0.80. (ver tabla 4).

Tabla 4. Cálculo del amortiguamiento.

Sillar		Amortiguamiento	
Blanco	Canto	0.20*	0.45**
	Soga	0.55*	0.75**
Rosa	Canto	0.50**	
	Soga	0.80**	

Las diferencias de valores de conductividad térmica y por ende de la transmitancia térmica del Sillar de cada uno de los laboratorios puede definirse por tres circunstancias principales:

Método de obtención del valor de conductividad térmica de cada material muestra

Cantera del cual se obtuvo el material muestra

Combinación de los fiames de la muestra

El valor máximo de transmitancia térmica (U) que permite el Reglamento Nacional de Edificaciones para el clima Mesoandino (zona climática cuatro) es de 2.36 W/m² K es decir una Resistencia Térmica mínima de 0.424 m² K/W. Si se compara ese requerimiento con lo obtenido del Sillar colocado en Canto o Soga, obtenemos que cumple satisfactoriamente en ambos casos, independientemente de los valores obtenidos por los dos laboratorios y del tipo y color del Sillar (ver fig 6).

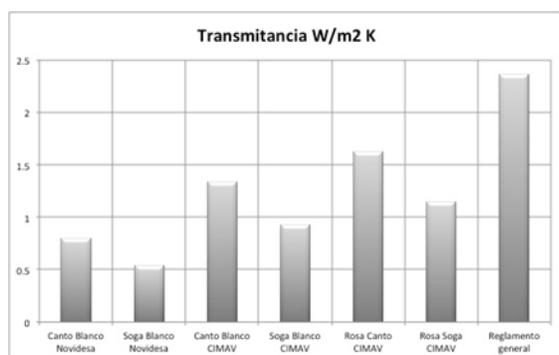


Fig 6. Comparativa de la transmitancia térmica del Sillar con los requerimientos del reglamento General

Si se considera el requerimiento del Reglamento Nacional como el 100% de transmisión térmica permitida, se obtiene que el Sillar en Canto permite el paso de calor del 53.16% en promedio y el de Soga el 36.79%.

El retraso térmico del Sillar Blanco colocado en Soga es el único que satisface con el requerimiento del diagnóstico bioclimático de 10 horas. Los otros acomodados del Sillar independientemente de su color no son suficientes en el tiempo de retardo.

El amortiguamiento de los dos acomodados del Sillar Blanco y Rosa es adecuado para el clima de Arequipa. Aunque hay variaciones entre ellos de 0.20 a 0.80, el promedio de 0.60 es suficiente en combinación con el tiempo de retraso y la transmitancia del material.

h. CONCLUSIONES

Las cualidades térmicas del Sillar dependen de la cantera o lugar de extracción. Sin embargo, este estudio demuestra que el Sillar de Arequipa posee unas propiedades térmicas adecuadas para el clima de la región.

El uso del Sillar colocado en Canto o Soga cumplen satisfactoriamente con la resistencia térmica requerida por el Reglamento Nacional de Edificaciones. Incluso el Sillar Blanco tiene tan buen comportamiento térmico con respecto a la resistencia térmica, que aun con espesores de hasta 0.07m en promedio cumple la norma. En tanto que el Sillar Rosa cumple la norma con un espesor mínimo de hasta 0.11m. Obviamente estos últimos espesores no pueden ser utilizados como material de construcción estructural, pero si como un recubrimiento para otro material menos eficiente térmicamente.

El buen comportamiento térmico del Sillar con respecto a la inercia o masa térmica por su tiempo de retraso y amortiguamiento es un aspecto fundamental

que considerar en la toma de decisiones de las edificaciones de Arequipa, no obstante, el Reglamento de Nacional de Edificaciones no contemple ese aspecto.

El uso del Sillar en la actualidad es un material de construcción que debe ser reconsiderado como un material de construcción ecológico, moderno y adecuado para la edificación de viviendas en Arequipa, pues además de que cumple con los requerimientos de la normativa vigente, el valor de su inercia térmica permite que sus habitantes accedan a espacios con un clima adecuado para desarrollar sus actividades diarias. Además, su belleza reconocida y su accesibilidad en su obtención en la misma región de Arequipa, coloca al Sillar como un material de bajo impacto ambiental.

i. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa por el apoyo recibido para la elaboración del proyecto de investigación a través del Contrato N° IBA-0048-2016 – UNSA.

j. REFERENCIAS

- ALONSO, Ricardo. Ignimbrita o Sillar: Una roca de construcción ecológica [en línea] [Fecha de consulta: 8 enero 2018] Disponible en: <http://danielsalmoral.com/2016/04/23/ignimbrita-o-sillar-una-roca-de-construccion-ecologica-por-ricardo-alonso/>
- ANSI/ASHRAE Standard 55-2010. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers, pp. 11-12. 2010.
- Instituto Geofísico del Perú [en línea]. [Consultado 9 de abril de 2018]. Disponible en: <http://www.igp.gob.pe/>
- LARA Galindo, Juan Carlos. Ensayos de Albañilería en Sillar. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, 1988
- LLANQUE Chana, Josué. Arquitectura Bioclimática. 1ª Ed 1. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, 2000.
- NORMA NACIONAL DE EDIFICACIONES. Instituto de Control y Gerencia [en línea], 2016, pp.50238 [Consultado 24 enero 2018]. Disponible en: <http://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>
- ORGANISMO Nacional de Normalización y

Certificación de la Construcción y Edificación S.C. [en línea] [Fecha de consulta 20 agosto 2017]. Disponible en: <http://www.onncce.org.mx/index.php/es/>.

<http://mapasplanosperu.blogspot.com/2011/03/mapa-climatico-del-peru.html> 31 de enero de 2018

Real Academia de Ciencias Exactas, Física y Naturales [en línea]. [Consultado 9 de abril de 2018]. Disponible en: http://www.ugr.es/~agcasco/personal/rac_geologia/rac.htm#I

RODRÍGUEZ Larraín, Sofia., SAAVEDRA, Johanna., ONNIS, Silvia. Arquitectura bioclimática. Lecciones de la arquitectura tradicional [en línea] [Fecha de consulta: 15 enero 2017] Disponible en: <http://miguelhadzich.com/wp-content/uploads/2015/09/ARQUITECTURA-BIOCLIMATICA-Sofia-Rodriguez-Larrain-PUCP.pdf>

TUDELA, Fernando. Ecodiseño. 1ª Ed 1. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. México, 1982

A influência dos sistemas de aquecimento doméstico na Qualidade do Ar Interior em habitações

Fabiana Lira, Rafael Arioli, Manuel Feliciano

1st Fabiana Lira
Instituto Politécnico de
Bragança
Bragança, Portugal
fabianesoareslira@gmail.pt

2nd Rafael Arioli
Universidade Tecnológica
Federal do Paraná, Campus
de Medianeira
arioli@utfpr.edu.br

3rd Manuel Feliciano
Centro de Investigação de
Montanha (CIMO), Instituto
Politécnico de Bragança
msabenca@ipb.pt

Abstract— Este estudo teve por objetivo caracterizar a Qualidade do Ar Interior (QAI) e avaliar a influência dos sistemas de aquecimento em várias tipologias de habitações localizadas na cidade de Bragança, Portugal. O estudo envolveu uma amostra de 25 habitações, 13 moradias unifamiliares e 12 apartamentos, equipadas com sistemas de aquecimento representativos da área de estudo como lareiras abertas, recuperadores de calor, salamandras, caldeiras, alimentados a biomassa vegetal (lenha, pellets), gás natural ou gasóleo. Em cada residência foi realizada a monitorização da fração fina de material particulado (PM_{2,5}), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVT), temperatura e humidade relativa do ar por um período de aproximadamente 24 horas, entre janeiro a março de 2018. Os resultados mostram que as situações mais críticas de qualidade do ar interior foram observadas em residências que utilizam biomassa lenhosa como fonte de energia térmica em lareiras abertas, estando particularmente relacionadas com concentrações mais elevadas de PM_{2,5} e CO. Durante o período de funcionamento destes sistemas de queima, registaram-se concentrações horárias máximas de aproximadamente 1500 µg/m³ e de 80 ppm, para PM_{2,5} e CO, respectivamente. Para os COVT, além dos sistemas de aquecimento interferirem na magnitude dos seus níveis, os valores mais elevados foram associadas a outros fatores como a queima de incenso, ambientadores e utilização de produtos de limpeza.

Keywords— Monitorização, residências, sistemas de combustão, material particulado, contaminantes gasosos, Nordeste de Portugal.

^a INTRODUÇÃO

Uma série de medidas implementadas para aumentar a eficiência energética dos edifícios, face à crise ocorrida no último quarto do século XX, contribuíram para uma acumulação de poluentes no ar interior [1].

A qualidade do ar interior (QAI) nesses espaços apresenta elevada correlação com a saúde dos seus ocupantes [2], uma vez que a atmosfera encontrada nesses ambientes contém poluentes prejudiciais à saúde humana, entre eles a fração fina de material particulado (PM_{2,5}), os Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) e o monóxido de carbono (CO) [3].

A emissão destes poluentes está relacionada com vários processos como sistemas de aquecimento, confeção de alimentos, utilização de produtos de limpeza, entrada de ar exterior contaminado, entre outros. A queima de combustíveis para o aquecimento das habitações e das águas sanitárias, bem como na confeção de alimentos é considerada uma das principais fontes de poluição do ar interior [4].

Segundo [5], os dispositivos de aquecimento mais utilizados, na cidade de Bragança, são os recuperadores de calor e as caldeiras, na sua maioria alimentados por lenha, pellets e gás natural. As lareiras têm também uma presença considerável em algumas moradias urbanas e suburbanas.

Apesar de culturalmente bem aceites pela população e de contribuírem para a mitigação das alterações climáticas, o uso de sistemas de aquecimento, em particular os que recorrem a biomassa lenhosa, na forma de lenha ou pellets, são fontes de material particulado e outros contaminantes impactantes para a qualidade do ar interior e exterior [6] e, consequentemente, para o conforto e a saúde humana.

A tomada de consciência deste problema de escala global tem conduzido à definição de políticas de gestão do ar interior e ao estabelecimento de limiares de proteção para várias tipologias de edifícios. Na tabela I encontram-se os limiares de proteção nacionais e internacionais, para os principais poluentes do ar interior.

LIMIARES DE PROTEÇÃO NACIONAIS E INTERNACIONAIS PARA OS PRINCIPAIS POLUENTES DE QAI.

Poluente	Limites de proteção nacionais (8h) ^(a)	Limites de proteção internacional (8h)
CO ₂	2250 mg/m ³ 1250 ppmv	1800 mg/m ³ ^(b)
CO	10 mg/m ³ 9 ppmv	10 mg/m ³ (8h) 7mg/m ³ (24h) ^(c)
CH ₂ O	100 µg/m ³	0,1 mg/m ³ ^(c)
COVs	600µg/m ³	0,3 mg/m ³ ^(d)
PM ₁₀	50µg/m ³	20µg/m ³ (ano) 50µg/m ³ (24h) ^(d)

PM _{2,5}	25µg/m ³	10µg/m ³ (ano) 25µg/m ³ (24h) ^(d)
-------------------	---------------------	--

Fonte: ^a Portaria 353-A/2013; ^b [7]; ^c [8]; ^d [9].

Neste contexto, este estudo teve por objetivos centrais caracterizar a qualidade do ar interior, através dos parâmetros de PM_{2,5}, CO, CO₂, COVT, humidade relativa e temperatura do ar, em diferentes tipologias de habitações localizadas na cidade de Bragança e arredores, Portugal, e avaliar a influência relativa de diferentes sistemas de aquecimento doméstico, visto que um aumento na concentração desses poluentes pode trazer danos irreversíveis para a saúde dos ocupantes desses espaços.

^bMATERIAIS E MÉTODOS

a. Características gerais da área de estudo

Este estudo de QAI foi realizado em habitações da cidade de Bragança e arredores, localizada no Nordeste de Portugal. Esta cidade apresenta uma população residente de aproximadamente 23000 habitantes [10]. O clima é temperado, com influências atlânticas e continentais, com elevadas amplitudes térmicas, sendo os períodos de invernos frios e húmidos, e os verões quentes e secos. As suas influências atlânticas são advindas da sua altitude e da sua distância à costa. Já os traços continentais são característicos da Terra Fria Transmontana [11].

b. Seleção e descrição da amostra

Para a escolha das habitações foram enviados e-mails, com uma breve apresentação do estudo, a solicitar colaboradores voluntários. Os interessados tiveram que preencher um pequeno formulário com dados pessoais, local e tipo de residência, tipo de sistema e combustível utilizado no aquecimento da habitação. Após esta etapa, foram selecionadas 25 habitações. O principal critério de seleção foi a tipologia do sistema de aquecimento e combustível utilizado. A amostra também integrou habitações sem sistemas de aquecimento.

As habitações selecionadas foram distintas na tipologia (12 apartamentos e 13 moradias), na área (90 a 400 m²), no número de ocupantes (1 a 5), no ano de construção (a maior parte no início do sec. XXI), na localização (umas mais centrais e outras mais periféricas), entre outras. As principais características das habitações encontram-se plasmadas na Tabela II.

c. Descrição experimental

Este trabalho envolveu a realização de medições e a aplicação de questionários em cada uma das 25 habitações avaliadas, entre janeiro e março de 2018. Em cada habitação, foi realizada a monitorização das PM_{2,5}, CO₂, CO, COVT, T e HR, por um período de aproximadamente 24 horas em cada habitação. Também se realizaram

medições no exterior de cada habitação, mas ao longo de um período mais curto.

As medições foram efetuadas com recurso a dois equipamentos: um para medir as PM_{2,5}, assente num princípio de operação ótico (*light-scattering*) da empresa Thermo Scientific® (ADR 1200S); um outro para medir os restantes parâmetros identificados anteriormente, a sonda IQ610 da Graywolf Sensing Solutions.

Os equipamentos foram instalados no compartimento da habitação onde se encontrava instalado o sistema de aquecimento, usualmente, na sala de estar. Excepcionalmente, quando os sistemas se encontravam em áreas de serviço ou em garagens com ligação à área habitacional, além da medição nesses espaços, também se realizaram na sala de estar.

Ambos os aparelhos foram montados em tripés independentes, posicionados a cerca de 1,5 metros de altura. Os instrumentos foram regularmente calibrados para o zero (ambos) e para uma concentração span (sonda IQ610).

Com o objetivo de obter informações adicionais sobre as habitações (e.g. tipologia, área, isolamento), os hábitos e costumes dos habitantes no interior das suas habitações, em

CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS HABITAÇÕES DA AMOSTRA

Nº	Tip.	S. A.	C	A m ²	Nº ocu.	F	Ano const.
1	Ap.	Rec./Cald.	L/GN	180	3	Não	2002
2	Ap.	Sal.	P	120	4	Sim	2000/ 2016*
3	Mor.	Sal.	P	400	2	Não	2007
4	Mor.	Rec.	L	360	5	Sim	2005
5	Ap.	Cald.	P	***	4	Não	2008
6	Mor.	Cald.	P	220	3	Não	2000
7	Ap.	Rec.	L	135	4	Não	2002
8	Mor.	Rec./Cald.	L/P	300	4	Não	2009
9	Ap.	Rec.	L	110	3	Não	2000
10	Mor.	Cald.	P	190	2	Não	1982
11	Mor.	**	**	100	4	Não	1986/ 2014*
12	Ap.	Cald.	GN	130	3	Sim	2003
13	Ap.	Rec.	L	170	3	Não	2004
14	Ap.	Cald.	P	110	4	Não	2001

15	Mor.	**	**	100	1	Não	1986/ 2014*
16	Ap.	Cald.	GN	122	3	Não	2002
17	Ap.	Cald.	GN	90	1	Não	2005
18	Ap.	Rec.	L	***	2	Sim	1992/ 2010*
19	Mor.	L.A.	L	120	2	Não	2008
20	Mor.	Cald.	D	360	2	Sim	1998/ 2017
21	Mor.	L.A.	L	***	2	Sim	2004
22	Mor.	Rec.	L	***	2	Não	1979
23	Mor.	Cald.	P	300	3	Sim	1981
24	Ap.	Cald.	GN	140	2	Não	2010
25	Mor.	L.A.	L	280	4	Não	1967/ 1997

Tip. – Tipologia; S.S. – Sistema de aquecimento; C – Combustível; A – Área; N° Ocu. N° de ocupantes; F – Fumadores; Ap – Apartamento; Mor – Moradia; Rec. – Recuperador de calor; L.A. Lareira Aberta; Cald. – Caldeira; L – Lenha; P – Pellets; GN – Gás natural; D – Diesel; *Ano de remodelação do imóvel **Sem sistema de aquecimento ***Sem informação

particular no que respeita às atividades quotidianas com influência na QAI, a percepção dos residentes relativamente a qualidade interior e a conforto térmico, foi aplicado um questionário aos habitantes das residências estudadas.

Durante as medições, os residentes desenvolveram as suas atividades quotidianas normalmente, ou seja, não foram impostas quaisquer regras comportamentais ou de utilização de fontes de poluição durante o período de medição, embora tivessem de preencher o campo VI do formulário relativo às condições prevalecentes durante o período de medição.

d. *Processamento e análise estatística dos dados*

Os dados obtidos nos diferentes ensaios foram organizados em folhas de cálculo do software Excel 2010 da Microsoft®, tendo sido elaborada uma folha de cálculo por habitação onde foi inserida toda a informação quantitativa e qualitativa relacionada com as medições e com os questionários aplicados. Em seguida, a informação foi organizada em 6 grupos, tendo por base o sistema de queima e o combustível usado: 1) lareira aberta-lenha; 2) recuperador de calor-Lenha; 3) caldeira-gás natural; 4)

Caldeira-Pellets e Salamandra-Pellets; 5) caldeira-gasóleo; 6) sem sistemas de aquecimento.

Adicionalmente construiu-se uma série de gráficos do tipo boxplot com recurso ao software R®, os quais apresentam um conjunto alargado de parâmetros estatísticos como o primeiro, segundo e terceiro quartil, máximos, mínimos e valores extremos, obtidos a partir das concentrações medidas e integradas de minuto a minuto.

As análises estatísticas foram realizadas através do software JMP v.11, Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas através do teste de Tukey, considerando-se significativo um valor de $p < 0.001$.

e. *Métodos de Avaliação da estanqueidade das habitações*

O grau de estanqueidade das habitações foi avaliado de duas formas indiretas: uma de natureza qualitativa, através da recolha de informação relativa a características construtivas das habitações junto dos seus proprietários; outra de natureza quantitativa, através do cálculo da taxa de infiltração de ar obtida com base nos níveis CO_2 registados em cada uma das 25 habitações. Para esse cálculo, foi selecionado um período com um decaimento linear dos níveis de CO_2 , usualmente registado durante o período noturno, após os ocupantes abandonarem o espaço das medições e se deslocarem para os seus quartos.

Em cada um desses períodos foi identificada a concentração de dióxido de carbono inicial (C_0) para o período inicial (T_0) e a concentração final (C_f), para o período (T_f), obtendo-se a taxa de infiltração através da aplicação da equação 1 [12].

$$TI = \frac{\ln(C_0) - \ln(C_f)}{T_0 - T_f} \quad (1)$$

As concentrações exteriores de CO_2 obtidas em cada uma das habitações foram subtraídas à concentração inicial e final para uma correção de fundo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

a. *Principais características das habitações*

Além das características já referidas na Tabela II, os formulários aplicados permitiram obter informação adicional relevante para se avaliar o fenómeno de QAI.

Um dos aspetos avaliados relacionou-se com as principais atividades desenvolvidas nas habitações com influência direta na QAI, cujas respostas mostraram que a limpeza (e.g. varrer, espanar, aspirar), a utilização de ambientadores (e.g. sprays, incenso, velas) e a confeção de alimentos foram atividades transversais e as mais

recorrentes, embora com uma frequência variável entre habitações. As respostas revelaram que a limpeza e o uso de ambientadores é realizada com uma frequência que varia de 1 a 5 vezes por semana, enquanto a confeção de alimentos entre 1 a 2 vezes por dia.

No que concerne aos sistemas de aquecimento mais utilizados e às suas principais fontes de energia constatámos que 40% utilizam caldeira, 20% recuperadores de calor e 16% lareira aberta. Dos recuperadores, 72% utilizam a lenha como combustível principal para o aquecimento e 28% pellets.

Outro aspeto avaliado foi a perceção dos ocupantes relativamente à qualidade do ar interior, tendo sido avaliada como boa, por 60% dos indivíduos, e como média por 28%. Já a qualidade do ar ambiente (exterior), foi classificada como média por 20% e como muito boa por 48%.

b. Avaliação do nível de estanqueidade das habitações

A recolha de informação junto dos proprietários das habitações relativamente ao tipo e isolamento das paredes, tipo de caixilharia e tipo de envidraçados, indiciava estarmos perante uma grande maioria de habitações com características construtivas adequadas para enfrentar invernos longos e rigorosos na região de estudo. Segundo os resultados do inquérito 56% das habitações possuíam paredes duplas, 28% paredes duplas com isolamento térmico e 88% com caixilharias de vidro duplo.

Relativamente aos resultados das taxas de infiltração (Fig. 1), constatou-se que a maior parte das habitações apresentam um grau de estanqueidade muito bom, com 50% das habitações a apresentarem taxas de renovação de ar, expressas em renovações por hora (RPH) inferiores a $0,2 \text{ h}^{-1}$ e 96% inferiores a $0,6 \text{ h}^{-1}$. Apenas a habitação 22, de construção mais antiga, exhibe um valor aproximadamente de $1,7 \text{ h}^{-1}$. Estes valores estão em conformidade com o deduzido pela informação fornecida pelos questionários, encontrando-se na gama de valores reportados por [12] para habitações do Canadá, cujos valores médios de RPH foram abaixo de $0,6 \text{ h}^{-1}$.

Os valores de RPH estimados, embora interessantes do ponto de vista térmico, indicam a necessidade de incluir nas rotinas diárias outras formas de ventilação como a abertura de janelas, ainda que, em alguns casos, tenha de ser por um período relativamente curto.

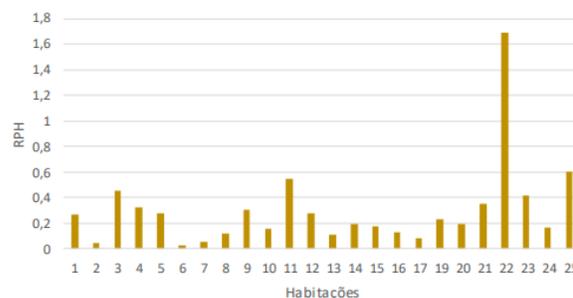


Fig. 1. Taxas de infiltração de ar na amostra de estudo.

c. Evolução temporal de parâmetros de QAI por tipologia de sistema de combustão e combustível

Nesta secção apresentam-se os principais resultados decorrentes da monitorização de parâmetros físico-químicos de QAI, conduzida em cada uma das habitações.

A evolução temporal das concentrações médias horárias de $\text{PM}_{2,5}$ e CO podem ser observadas na Fig. 2, na qual se observa que os sistemas alimentados a biomassa lenhosa estão associados a concentrações de $\text{PM}_{2,5}$ mais elevadas.

Nas habitações com lareiras abertas foram registadas concentrações máximas horárias de aproximadamente $1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (habitação 19), e de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (habitação 22). A habitação 25, apesar de estar equipada com lareira aberta, apresentou baixas concentrações, com um valor máximo horário de $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, evidenciando ser possível reduzir a interferência das lareiras abertas na QAI.

Nas habitações com recuperador de calor, as concentrações foram globalmente mais baixas, mas em alguns casos as concentrações médias horárias aproximaram-se das $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (e.g. habitação 9), motivadas usualmente pelo abrir da porta aquando da alimentação do sistema com lenha. O mesmo comportamento foi observado em residências na Alemanha onde também se constatou que as lareiras a lenha eram importantes fontes de material particulado e de poluentes gasosos, principalmente em momentos em que a câmara de combustão era aberta para colocar mais lenha [13]. Para as habitações 7 e 21, também com recuperador de calor, as concentrações mantiveram-se, por alguns momentos, em torno de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e na habitação 13 foram encontradas concentrações bem mais baixas, próximas de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nas habitações com salamandras a pellets, os níveis de $\text{PM}_{2,5}$ mais elevados ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) foram observados na habitação 2. Nas habitações com caldeiras a pellets, os valores horários foram bem mais elevados, atingindo, pontualmente, concentrações superiores a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nas

habitações 8 e 23. Os níveis mais elevados registados nestes sistemas a pellets estão associados, em particular, ao pó libertado, aquando da alimentação do sistema.

Analisando os valores de $PM_{2.5}$ registados nas habitações com caldeiras a gás natural, constata-se que os níveis de material particulado foram sistematicamente mais baixos. Apenas a habitação 12 apresentou concentrações relativamente elevadas na fase inicial do ensaio, com valores médios horários superiores a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cuja ocorrência se deveu à queima de incenso no local da medição. Com a eliminação dessa fonte de poluição, os valores se estabilizaram e mantiveram-se numa faixa concentrações mais baixas.

Na habitação 24, as concentrações médias tenderam a ser ligeiramente mais elevadas do que nas outras habitações com caldeiras a gás, tendo-se registado valores próximos de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta situação pode ser explicada em parte pelo facto de a cozinha ser um espaço contíguo ao local de medição [14]. O processo de confeção de alimentos pode libertar vapores e fumos, que podem apresentar substâncias como COVs, HAPs, PM_{10} , $PM_{2.5}$, CO_2 e CO [10] [2] e gerar odores (alguns desagradáveis) que comprometem a QAI [3].

Para a habitação com caldeira a gasóleo os valores mais elevados foram de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que coincidiu com o momento em que estava a decorrer a limpeza da residência, sendo expectável um aumento na concentração de partículas, proporcionado pela varredura e espanção do ambiente [15].

As habitações sem sistema de aquecimento apresentaram no início das medições valores mais elevados de $PM_{2.5}$, com picos superiores a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na habitação 11, onde as condições de ventilação não eram as ideais, uma vez que os moradores relataram não abrirem as janelas e fumarem dentro da habitação.

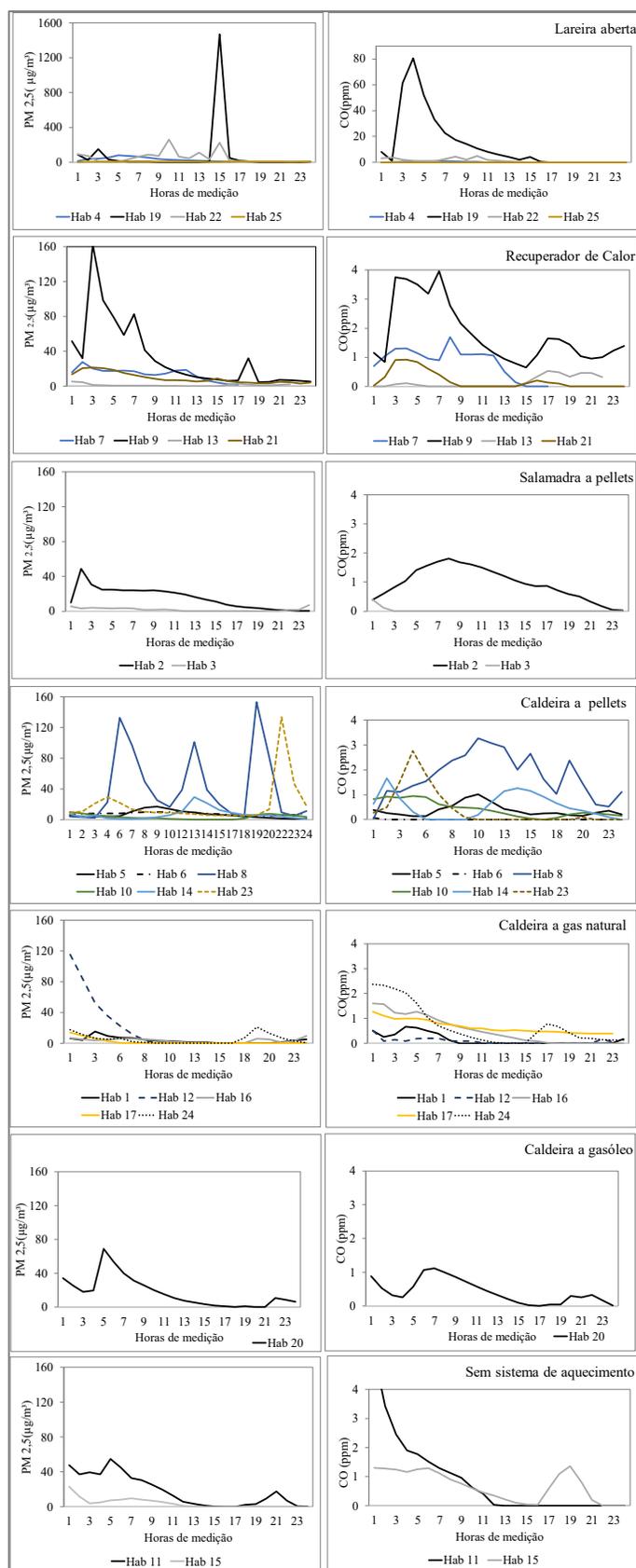


Fig. 2. Evolução das concentração média horária de $PM_{2.5}$ e CO para as diferentes habitações agrupadas por sistema de aquecimento e combustível.

Na habitação 15, também com ocupantes fumadores, as concentrações máximas foram de cerca de metade das observadas na 11, mas os ocupantes reportaram que abriam as janelas e evitavam fumar no interior da residência.

É importante notar que, em alguns momentos, as concentrações médias e principalmente as registadas durante o funcionamento das lareiras abertas e recuperadores de calor, apresentaram valores muito elevados quando comparados com os limiares de proteção da saúde humana. Estudos realizados em Portugal encontraram concentrações elevadas tal como as observadas nas habitações estudadas para emissão de $PM_{2.5}$ por lareiras, tendo sido registados valores máximos superiores a $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [14]. Num outro de âmbito mais alargado, realizado também em habitações portuguesas, os valores médios foram de $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [16].

No que concerne ao monóxido de carbono constata-se que existe uma certa similaridade com as diferenças já identificadas para as $PM_{2.5}$. Ainda que sejam dois poluentes das atmosferas interiores e exteriores com fontes distintas, a combustão incompleta de combustíveis sólidos é uma das principais fontes de ambos os poluentes.

Assim, também é notório que as habitações com lareiras abertas tenham sido as que apresentaram as concentrações mais elevadas de CO, conduzindo a valores horários de aproximadamente 80 ppm, na habitação 19, durante o período de queima de biomassa, constituindo uma situação de risco para os ocupantes. Nas habitações com recuperadores, os valores foram bem mais baixos, mas ainda ligeiramente superiores aos registados em outros sistemas. Na habitação 9, a média diária foi de 4 ppm, embora durante o funcionamento do sistema de queima se tenha atingido os 12 ppm. Em geral, as concentrações para caldeiras e salamandras a pellets, caldeiras a gás natural e a gasóleo mantiveram-se inferiores a 3 ppm.

As concentrações de CO foram superiores ao limiar de 9 ppm, estabelecido na Portaria n.º 353-A/2013, apenas em duas habitações, uma com lareira aberta e outra com recuperador, o que em função do tempo de exposição pode ser prejudicial à saúde humana.

d. Avaliação da Influência dos sistemas de aquecimento na QAI

A distribuição interquartil das concentrações de $PM_{2.5}$, CO e COVs, em função das diferentes tipologias de sistemas de aquecimento e diferentes combustíveis, encontra-se na Fig. 3.

Os gráficos da direita mostram todos os valores obtidos com um intervalo de integração de 1 minuto, enquanto nos gráficos da esquerda foram excluídos os valores extremos

para uma melhor visualização dos parâmetros estatísticos utilizados.

Os resultados desta análise reforçam o que já foi referido anteriormente, demonstrando que os sistemas de queima de lenha em lareiras abertas são os que mais contribuem para o aumento das concentrações de $PM_{2.5}$.

Em relação ao CO verifica-se igualmente a influência negativa destes sistemas de queima, mas os recuperadores de calor a lenha e as caldeiras a pellets assumem uma contribuição relativa superior ao verificado para a fração fina das partículas.

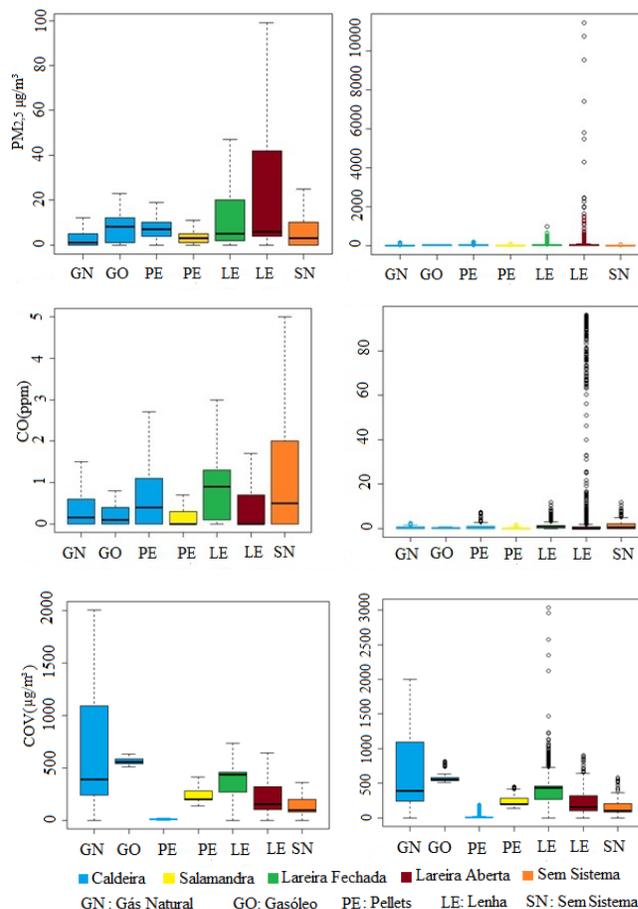


Fig. 3. Boxplots das concentrações dos principais poluentes da QAI registadas nas diferentes habitações estudadas. (Esquerda) sem valores extremos; (Direita) com valores extremos.

É igualmente notório, que as habitações sem sistemas de aquecimento apresentem uma contribuição considerável, motivada pela influência de outras fontes, como o fumo do tabaco, uma vez que nessas habitações, o ato de fumar era uma prática frequente. Relativamente às concentrações de COVs verifica-se que são influenciadas por outras fontes, além dos sistemas de aquecimento.

CONCLUSÕES

Relativamente à análise efetuada na secção anterior, importa ainda realçar que a Fig. 3 (gráficos da direita) mostram que por momentos curtos, da ordem dos minutos, as concentrações dos poluentes estudados atingiram valores 10 vezes mais elevados do que os valores horários. Este facto é particularmente evidente para as partículas PM_{2,5} em habitações com lareiras abertas.

As concentrações de PM_{2,5} registadas nas habitações com lareiras abertas e recuperadores apresentaram as médias mais elevadas, de respetivamente 41 e 59 µg/m³, não apresentando, todavia, diferenças significativas. Os demais sistemas diferiram significativamente dos anteriores em termos de emissões de material particulado PM_{2,5} e de CO, como se ilustra na Tabela III.

RESULTADOS DA ANOVA E TESTE TUKEY PARA OS DADOS DE QAI OBTIDOS NO ESTUDO

Parâmetro	PM _{2,5} (µg/m ³)	COV (µg/m ³)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)
Gás natural (Caldeira)(n=4865)	6±17 b	664±503 a	926±364 b	0,4±0,5 b
Pellets (Caldeira e Salamandra) (n = 5479)	10±17 b	365±115 c	858±331 c	0,5±0,7 b
Lenha (Recuperador de calor) (n = 2848)	41±55 a	345±203 c	737±334 d	4±15 a
Sem sistema de aquecimento (n = 2855)	10±14 b	141±80 e	1332±649 a	0,7±0,8 b
Lenha (Lareira aberta) (n = 2494)	59±457 a	257±228 d	653±241 e	4±16 a
Gasóleo(Caldeira) (n = 302)	8±7 b	599±99 b	565±117 f	0,3±0,3 b
Teste de Tukey Valor de p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Obs. as letras diferentes por coluna indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey.

Para as concentrações de COVT, os sistemas apresentaram maiores diferenças entre eles, havendo semelhança apenas para recuperadores e sistemas a pellets. Os COVT estiveram mais relacionados com fatores como utilização de produtos de limpeza e incenso, do que com o próprio sistema de aquecimento. Já para o CO₂ todos os sistemas apresentaram diferenças significativas entre si, iniciando sobretudo as diferentes formas de gerir a ventilação natural das mesmas.

Com o presente estudo foi possível avaliar a influência de diferentes fontes de poluentes de atmosferas interiores, com especial destaque para os sistemas de aquecimento das 25 habitações avaliadas na cidade de Bragança, Portugal.

Devido ao inverno muitas vezes rigoroso, a utilização de sistemas de aquecimento é uma prática habitual para a melhoria das condições de conforto térmico por parte da população, principalmente os abastecidos a biomassa.

Os resultados permitiram constatar que os sistemas de aquecimento exercem uma influência diferenciada nos níveis de alguns contaminantes do ar interior, em particular nos níveis da fração fina de material particulado (PM_{2,5}), tendo em algumas residências atingido concentrações horárias próximas das 100 µg/m³, e nos níveis de CO que atingiu máximos horários de 80 ppm, principalmente em lareiras abertas alimentadas a lenha.

Além dos sistemas de aquecimento, os COVs apresentaram foram influenciados por outras fontes como a utilização de produtos de limpeza, o uso de ambientadores, a queima de incenso e a confeção de alimentos.

Do ponto de vista energético, a construção de edifícios estanques é uma prioridade, porém podem contribuir para uma QAI de má qualidade, por não permitir taxas de renovação de ar novo adequadas, sendo necessário adotar práticas que proporcionem a ventilação do ambiente interior, através da abertura de janelas diariamente, nem que seja por curtos períodos de tempo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT, Portugal) e FEDER ao abrigo do Programa PT2020 pelo apoio financeiro ao CIMO [UID / AGR / 00690/2019], assim como a todas as pessoas que disponibilizaram as suas habitações para tornarem possível a realização deste estudo.

REFERENCIAS

- Burroughs, H. E., Hansen, S. J. (2011). *Managing Indoor Air Quality*. 5th Edition. ISBN: 978-1-4398-7014-3. Taylor & Francis, Ltd.
- Committee on the Medical Effects of Air Pollution. (2010). *The Mortality Effects of Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution in the United Kingdom*. <https://doi.org/10.1093/monographs/978-0-85951-685-3>
- Godish, T. (2004). *Air Quality. Sierra Nevada Ecosystem Project Final report to Congress, II: Assess(3)*, 1227–1261. <https://doi.org/10.5772/259>
- Wang, L.K., Pereira, N.C., Hung, Y.T., 2005. *Advanced Air and Noise Pollution Control* Human Press.
- Azevedo J. C., Castro J. P., Tarelho L., Escaldante E., Feliciano M., (2011). *Avaliação do potencial de produção e utilização sustentável de biomassa para energia no distrito de Bragança*. In Atas do 17º Congresso da APDR
- Chio, C. P., Cheng, M. T., & Wang, C. F. (2004). *Source apportionment to PM10 in different air quality conditions for Taichung urban and coastal*

- areas, Taiwan. Atmospheric Environment. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.08.041>
- ASHRAE Standard 62.2, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA (2013).
- World Health Organization. (2010). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Bonn, Germany: In Puncto Druck+ Medien GmbH, 484.
- World Health Organization (2005). WHO Air Quality Guidelines : Particulate matter, ozone, nitrogen, dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen, Denmark.
- INE, I.P. (2012). Censos 2011: Resultados Definitivos. ISBN: 978-989-25-0181-9. Instituto Nacional de Estatística, I.P. Lisboa, Portugal.
- Weichenthal, S., Dufresne, A., Infante-rivard, C., & Joseph, L. (2007). Indoor ultrafine particle exposures and home heating systems: A cross-sectional survey of Canadian homes during the winter months, 288–297. <https://doi.org/10.1038/sj.jes.7500534>
- AEMET/IM, (2011), Iberian Climate Atlas – Air Temperature and Precipitation (1971-2000), State Meteorological Agency of Spain/Institute of Meteorology of Portugal. <https://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/publicaciones/Atlas-climatologico/Atlas.pdf>.
- Salthammer, T., Schripp, T., Wientzek, S., & Wensing, M. (2014). Impact of operating wood-burning fireplace ovens on indoor air quality. *Chemosphere*, 103, 205–211. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.11.067>
- Coentro, S. R. C. (2015). Qualidade do Ar Interior em Habitações: Fontes Emissoras de Poluentes. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciência e Tecnologia- Universidade Nova de Lisboa – UN, Lisboa, Portugal. https://run.unl.pt/bitstream/10362/17472/1/Coentro_2015.pdf
- Batista, C. (2008). Poluição do Ar de Interiores : Uma avaliação de casos relacionados a climatização artificial. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Especialista em Análise Ambiental. Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.
- Ginja, J., Borrego, C., Coutinho, M., Nunes, C., & Morais-Almeida, M. (2012). Qualidade do ar interior nas habitações Portuguesas. Congress of Innovation on Sustainable Construction, 1–1.

Resíduos de Desflurano e Sevoflurano em Bloco Operatório de uma Unidade Hospitalar

Vanessa Yamanaka, Ermelinda Pereira, Joseane Theodoro, Lucas D'avila, Maria Domingues, Manuel Feliciano

Vanessa Yukie Yamanaka¹
Instituto Politécnico de Bragança,
Campus de Santa Apolónia
Bragança, Portugal
vanessa.yukie.yamanaka@gmail.com

Ermelinda Lopes Pereira²
Centro de Investigação de Montanha
(CIMO), Instituto Politécnico de
Bragança, Campus de Santa Apolónia
Bragança, Portugal
epereira@ipb.pt

Joseane Theodoro³
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná – Câmpus Londrina
Londrina, Brasil
joseaneph@gmail.com

Lucas D'avila⁴
Instituto Politécnico de Bragança,
Campus de Santa Apolónia
Bragança, Portugal
lucasdvla@outlook.com

Maria de Fátima Domingues⁵
Unidade Local de Saúde do Nordeste
Bragança, Portugal
fatima.domingues@ulsne.min-saude.pt

Manuel Feliciano⁶
Centro de Investigação de Montanha
(CIMO), Instituto Politécnico de
Bragança, Campus de Santa Apolónia
Bragança, Portugal
msabença@ipb.pt

Resumo—Os resíduos de gases anestésicos podem causar diversas doenças nos seres humanos, quer devido a exposições a elevadas concentrações de curto tempo ou a exposições a concentrações mais baixas, mas por períodos de tempos mais longos. A NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) estabelece o valor de 2 ppm para gases anestésicos halogenados, para um período de exposição de 1 hora. Neste âmbito, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do ar em três locais do bloco operatório (sala de cirurgia geral, sala de recobro, zona de transferência) e no hall de acesso ao bloco operatório, de uma unidade hospitalar do distrito de Bragança. O estudo envolveu a medição dos resíduos de desflurano e sevoflurano, bem como de dióxido de carbono, humidade relativa e temperatura do ar em diferentes pontos de cada um dos espaços referidos. Os gases anestésicos e o dióxido de carbono foram medidos com o analisador Gasera One Pulse, cujo princípio de medição assenta na espectroscopia fotoacústica de infravermelho. A humidade relativa e a temperatura do ar foram monitoradas com uma sonda IQ610 da Graywolf Sense Solutions e com um sensor lowcost construído e calibrado para o efeito. Os resultados revelam a existência de uma gestão relativamente eficaz dos resíduos destes gases, ainda que na sala de recobro tenham sido detetadas excedências aos níveis definidos pela NIOSH, para ambos os gases estudados. Além de no recobro ocorrer a libertação de parte dos resíduos inalados pelo paciente durante a anestesia, a ventilação parece não ser tão eficaz como na sala de cirurgia. A zona de transferência e o hall de entrada não foram, todavia, afetados pelos níveis registados na sala de recobro.

Palavras Chave—gases anestésicos, sala de cirurgia, sala de recobro, monitorização, espectroscopia fotoacústica.

IX. INTRODUÇÃO

Os resíduos de gases anestésicos correspondem a pequenas quantidades desses gases voláteis que se

perdem do sistema de anestesia e/ou do circuito de respiração do paciente para o ambiente interior. São vários os profissionais que se encontram expostos a esse tipo de resíduo, como anestesistas, enfermeiros, médicos cirurgiões e até mesmo outras pessoas presentes nas salas de recobro [1].

A exposição a concentrações residuais de gases anestésicos tem sido associada a efeitos adversos à saúde dos indivíduos expostos, seja em resultados de efeitos crónicos ou agudos [2]. Alguns estudos apontam danos no DNA [3] [4], instabilidade genómica [5], riscos de aborto espontâneo [6], cefaleias, irritabilidade e alterações neurocomportamentais [7].

A monitorização de gases anestésicos em blocos cirúrgicos é fundamental não só para avaliar as suas concentrações no ar interior, mas também para identificar os potenciais pontos de fuga e verificar as medidas de controlo, de modo a minimizar os riscos de exposição e, conseqüentemente, assegurar a saúde e a segurança dos trabalhadores expostos [7]. A monitorização da qualidade do ar interior deve também ser acompanhada pelo registo de outras variáveis importantes, como a humidade relativa, temperatura do ar e o dióxido de carbono (CO₂). Este último porque pode exercer efeitos no conforto e na saúde humana, quando atinge níveis superiores a 5000 ppm [8], e, sobretudo, por constituir um excelente indicador de ventilação dos espaços interiores [9].

De acordo com as orientações da NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), o nível de exposição aos gases halogenados (desflurano, enflurano, halotano, isoflurano e sevoflurano) não pode exceder o valor de 2 ppm durante um período de 1 hora [10]. Para

o dióxido de carbono (CO₂), a Portaria 353-A de 2013 estabelece o valor de 1250 ppm para um período de 8 horas de exposição como limiar de proteção [11]. A temperatura ambiente (T) no bloco operatório pode oscilar de 17°C a 27°C e a humidade relativa (HR) de 30% a 60% [12].

São poucos os estudos encontrados em Portugal acerca deste tema e o país não possui uma legislação que estabeleça o limite de exposição para estes gases, sendo as recomendações da NIOSH as mais adotadas. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar os níveis de resíduos de gases utilizados no bloco operatório de uma unidade hospitalar do distrito de Bragança – o desflurano e o sevoflurano –, bem como os níveis de CO₂, HR e T, com vista a identificar eventuais pontos críticos e propor medidas de mitigação.

X. METODOLOGIA

O estudo foi realizado no Bloco Operatório da Unidade Local de Saúde do distrito de Bragança nas salas de cirurgia geral (SCG), sala de recobro (SR) e zona de transferência (ZT) de doentes durante as intervenções cirúrgicas de colecistectomia laparoscópica, hernioplastia e gastrectomia parcial. Como forma de comparação, realizaram-se ainda medições no hall de acesso aos quartos e bloco operatório, designado a partir de agora por Corredor Externo (CE).

As medições foram realizadas em vários pontos de amostragem (Fig. 1). Na SCG foram: (A) entrada da sala, (B) área próxima do circuito respiratório do paciente, (C) área de respiração dos médicos cirurgiões e enfermeiro instrumentista, (D) área próxima do equipamento de anestesia e (E) área de respiração do anestesista e enfermeiro de anestesia. No recobro as medições foram: (A) na área próximo ao equipamento de anestesia, (B) saída da sala, (C) área de respiração do paciente 1 e (D) área de respiração do paciente 2. Na ZT os pontos foram: (A) próximo a porta 1, (B) próximo a janela, (C) meio da sala e (D) próximo a porta 2. No corredor externo, as medições foram feitas em dois pontos diferentes: (A) mais próximo da entrada do quarto masculino e (B) próximo a janela. Não foi possível fazer medições em mais pontos no CE, devido ao equipamento não possuir bateria.

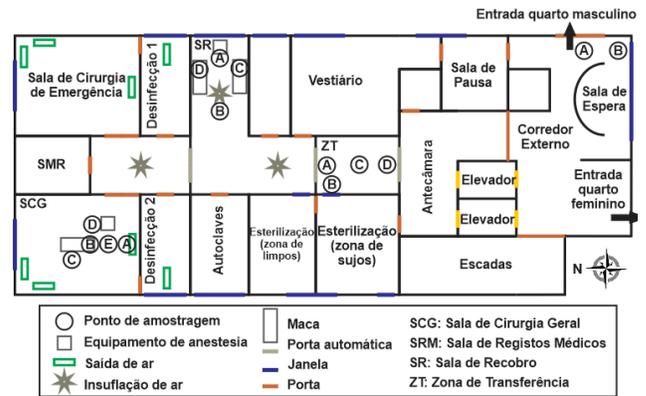


Fig. 1. Layout do bloco operatório da ULSNE Nordeste com localização dos pontos de amostragem na sala de cirurgia geral, recobro, zona de transferência e hall de entrada ao quarto masculino e bloco operatório.

Até ao momento da escrita deste artigo, tinham sido realizadas 15 avaliações, das quais oito foram em cirurgias com o gás sevoflurano e sete com desflurano. O período de medição na SR, ZT e CE foram de aproximadamente de 1 h. Na SCG variou em média entre 1 a 4h, em função da duração das cirurgias.

O hospital utiliza o equipamento de anestesia Leon Plus da marca Löwenstein Medical, o qual possui um sistema de respiração em circuito fechado. Nas cirurgias monitoradas, os pacientes foram submetidos a anestesia geral com intubação endotraqueal com cuff, para evitar fugas durante a ventilação artificial. A escolha de utilização do gás anestésico foi determinado pelo médico anestesista.

Na determinação da concentração interior de gases anestésicos, desflurano e sevoflurano, e dióxido de carbono (CO₂) foi utilizado o equipamento Gasera One Pulse, o qual se baseia no princípio de operação de espectroscopia fotoacústica de infravermelho. As concentrações de etanol e de vapor de água também foram medidas de forma a corrigir a interferência cruzada destes gases nas leituras dos gases anestésicos e CO₂, respetivamente. O equipamento deteta as concentrações dos gases anestésicos e do CO₂ em tempo real e os resultados foram obtidos com um intervalo de 3 minutos.

A temperatura e a humidade relativa foram medidas pelo equipamento IQ-610 da Graywolf Sense Solutions nas dez primeiras cirurgias e nas cinco restantes foi utilizado uma plataforma arduino equipada com os sensores previamente calibrados, assegurando a medição em tempo real.

Os dados foram tratados no programa JMP versão v.11. A análise estatística descritiva foi realizada para obter a média, desvio padrão, mediana, máximo e mínimo.

XI. RESULTADOS

A. Humidade relativa e temperatura do ar

Relativamente à humidade relativa e temperatura do ar não se observaram variações significativas nos valores médios para os diferentes espaços da SCG, SR e ZT (Tabela I).

TABELA I. TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA NOS LOCAIS DE MEDIÇÃO

		T (°C)	HR (%)
		Média ± dp	26,7±1,1
Corredor Externo	Mínimo	24,2	22,33
	Máximo	28,8	53,11
	Média ± dp	22,5±1,0	36,20±9,22
Sala de Cirurgia Geral	Mínimo	19,4	11,80
	Máximo	25,41	52,39
	Média ± dp	22,5±1,0	32,03±7,99
Sala de Recobro	Mínimo	19,5	11,40
	Máximo	24,5	48,95
	Média ± dp	23,5±1,0	30,44±7,53
Zona de Transf.	Mínimo	21,0	11,80
	Máximo	25,4	46,39

Os valores de temperatura oscilaram entre 22,5°C a 23,5°C e os de HR entre 36,2% a 30,44% nos locais referidos. Num dos ensaios registaram-se valores baixos de humidade relativa, tendo variado entre 11% e 13%. A baixa humidade causa desconforto nas vias respiratórias e também estão associadas ao desenvolvimento de doenças respiratórias nos seres humanos [14]. Esta situação pode ocorrer ocasionalmente, dado que o controlo da humidade é efetuado de forma manual.

No entanto, em termos médios, a humidade relativa e a temperatura das salas do bloco operatório mantiveram-se dentro dos níveis estabelecidos nas normas e especificações técnicas para edifícios hospitalares com sistemas AVAC, para os quais se adota um nível de humidade entre 30% e 60% e temperatura de 17°C a 27 °C.

No que concerne ao CE, a humidade relativa apresentou valores muito similares aos registados no bloco, mas as temperaturas foram mais elevadas, alcançando um valor máximo de 28,8°C. Este fator pode ser explicado por se situar na ala sul do hospital, local que recebe muita incidência solar, e pelas medições terem sido realizadas na maior parte das vezes no período da tarde.

B. Ventilação e dióxido de carbono

O bloco operatório do hospital é aclimatizado e ventilado por um sistema AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) centralizado, tendo uma pressão positiva nas salas de cirurgia. O sistema AVAC tem como função criar conforto térmico (controlo de

temperatura e humidade), fornecer ar exterior limpo aos ocupantes, remover odores e poluentes, através do uso de exaustores, ou diluindo-os até níveis aceitáveis, e fazer o controlo da relação de pressão entre as salas [12].

A ventilação é um dos fatores mais importantes para garantir uma boa qualidade do ar interior (QAI). Neste estudo, os níveis de CO₂ foram usados para avaliar de uma forma indireta o funcionamento do sistema de ventilação, assumindo o estabelecido na portaria 353-A de 2013 e noutras normas internacionais [8] que sugerem existir taxas adequadas de renovação de ar novo sempre que os níveis de CO₂ em espaços interiores forem inferiores a 1250 ppm.

Analisando as concentrações médias de CO₂, apresentadas na Tabela II, foi constatado que os diferentes espaços do bloco operatório apresentam níveis muito similares e bem abaixo do estabelecido na lei. Desta forma, podemos afirmar, com alguma segurança, que todos os locais do bloco operatório apresentam boa ventilação, contribuindo para uma boa diluição das cargas de poluentes libertados para o ar interior.

TABELA II. MÉDIA E DESVIOS PADRÃO DE CO₂ NOS LOCAIS MEDIDOS

	CO ₂ (ppm)			
	SCG	SR	ZT	CE
Média±dp	645,1±81,1	630,4±142,7	624,1±45,5	743,4±112,3
Mínimo	617,6	524,9	561,8	617,6
Máximo	1233,5	1890,6	797,9	1051,2

A Fig. 2, onde se encontra plasmada a variação interquartil e os valores extremos de todos os valores instantâneos de dióxido de carbono, possibilita uma análise mais detalhada da variação dos níveis de CO₂, para todos os locais avaliados. A SR foi o espaço onde se registaram os valores mais elevados, acima de 1250 ppm, mas foi na SCG onde os níveis excederam com maior frequência os 1000 ppm. Apesar de o sistema de ventilação ser adequado para assegurar níveis baixos de CO₂, não evitou que pontualmente tenham surgido valores mais elevados em determinados locais, em particular onde se concentram mais pessoas, que constituem a principal fonte de CO₂ nestes espaços.

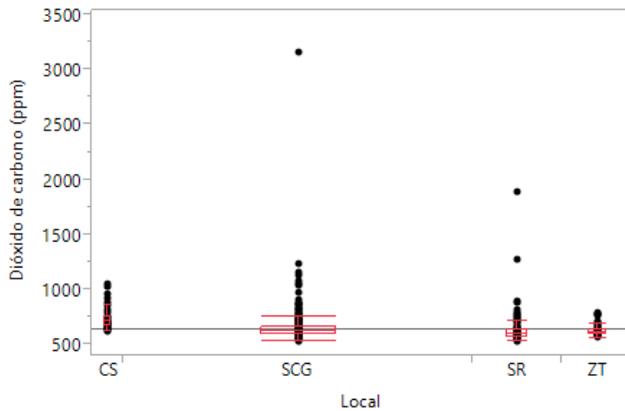


Fig. 2. Boxplot dos níveis de CO₂ obtidos nos diferentes locais avaliados (CE: corredor externo, SCG: Sala de cirurgia geral, SR: sala de recobro, ZT: zona de transferência). A linha horizontal cinza representa a média global de todos os espaços.

Os valores mais baixos foram encontrados na zona de transferência, sendo o mínimo de 562 ppm e o máximo de 798 ppm. O local não apresenta entradas nem saídas de ar, mas os resultados indiciam a existência de uma boa ventilação, devido ao gradiente de pressão existente no bloco que não permite a acumulação de CO₂, assim como de outros contaminantes.

No corredor externo, como expectável, os valores de CO₂ não atingiram valores críticos (>1250 ppm), mas estiveram sempre acima dos 600 ppm. Trata-se de um local frequentado pelos pacientes internados e pelos funcionários, porém, as portas de entrada para o quarto masculino e a porta de acesso ao piso estão sempre abertas, fornecendo a ventilação adequada ao local.

C. Concentrações médias de gases anestésicos nos diferentes espaços estudados

Na Fig. 3 apresentam-se as concentrações médias dos gases anestésicos, desflurano e sevoflurano, para os diferentes espaços avaliados. A tabela III complementa a informação ao acrescentar os desvios-padrão, máximos e mínimos, para cada um dos espaços.

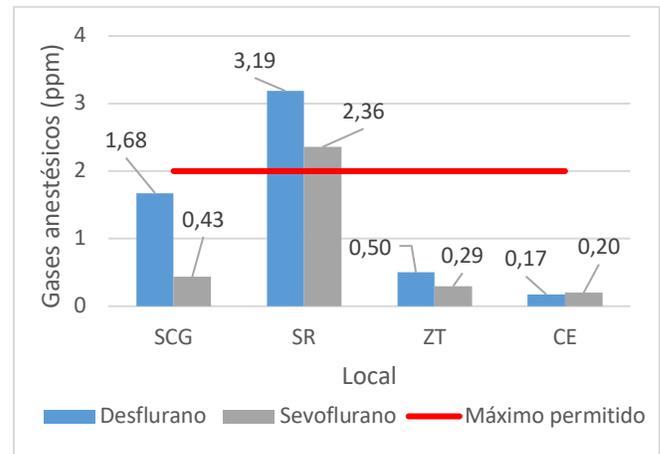


Fig. 3. Concentração média de gases anestésicos nos diferentes locais avaliados.

TABELA III. MÉDIA, DESVIO PADRÃO, MÍNIMO E MÁXIMO DOS GASES ANESTÉSICOS NOS LOCAIS MEDIDOS

		Desflurano (ppm)	Sevoflurano (ppm)
Corredor Externo	Média ± dp	0,17±0,07	0,20±0,06
	Mínimo	0,09	0,09
	Máximo	0,32	0,35
Sala de Cirurgia Geral	Média ± dp	1,68±3,42	0,43±0,61
	Mínimo	0,12	0,11
	Máximo	37,8	8,78
Sala de Recobro	Média ± dp	3,19±5,69	2,36±9,08
	Mínimo	0,35	0,25
	Máximo	31,1	76,7
Zona de Transf.	Média ± dp	0,50±0,44	0,29±0,09
	Mínimo	0,16	0,16
	Máximo	1,73	0,53

Em termos gerais, constatamos que na ZT e no CE as medições de ambos os gases foram sempre inferiores a 2 ppm, sendo bem evidente a reduzida amplitude de valores obtida ao longo das 15 avaliações realizadas. Estes dois locais cumprem integralmente as recomendações da NIOSH. Como expectável, os níveis mais baixos foram encontrados no CE, pois encontra-se distante dos locais onde são utilizados os gases anestésicos, tendo sido avaliado para servir de referência, uma vez que era suposto apresentar níveis mais baixos do que os locais próximos das fontes de emissão de gases halogenados. O valor máximo foi de 0,32 ppm para o desflurano e 0,35 ppm para o sevoflurano, e o mínimo foi de 0,09 ppm para ambos os gases.

Na SCG, os valores médios do sevoflurano foram relativamente baixos, sendo um pouco mais elevado para o gás desflurano, pois atingiram em alguns momentos valores bastante superiores a 2 ppm, indicando a ocorrência de situações menos desejáveis. Na SR, as concentrações de sevoflurano e desflurano atingiram valores médios globais de 2,36 ppm e 3,19 ppm, respetivamente, sugerindo ser o espaço mais crítico do bloco operatório. Na SR, apesar de existir

ventilação, com insuflação e exaustão de ar, parece que não é totalmente suficiente para reduzir o efeito da emissão resultante da expiração dos gases anestésicos inalados durante a anestesia do paciente.

D. Padrão espacial das concentrações médias de gases anestésicos nos diferentes espaços estudados

Nas figuras que se seguem (Fig. 4 à Fig. 7) apresentam-se os boxplots das variações espaciais das concentrações residuais de desflurano e sevoflurano no ar interior de cada um dos locais avaliados, de modo a conhecer melhor a distribuição dos níveis desses gases e a exposição em função da posição dos ocupantes nesses locais.

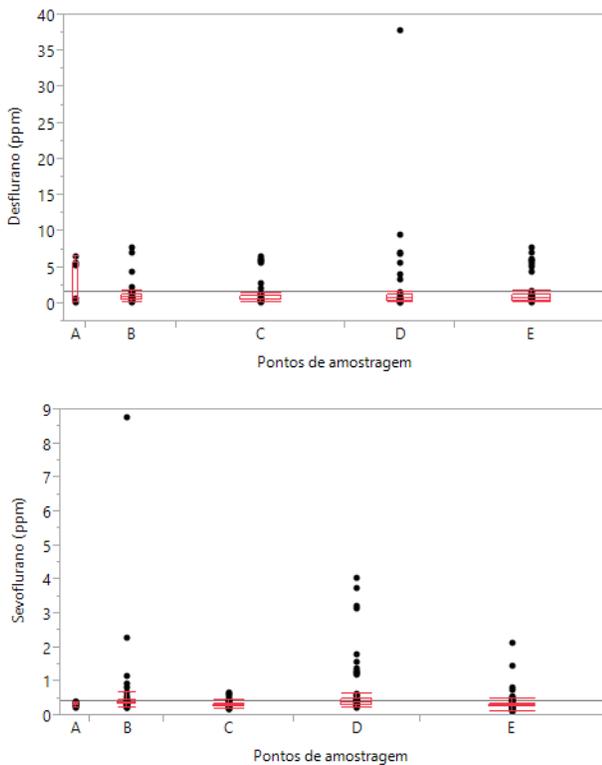


Fig. 4. Boxplot das variações das concentrações residuais do desflurano e sevoflurano no ar ambiente da SCG durante as intervenções cirúrgicas, nos diferentes pontos de amostragem (A - entrada da sala; B- área próxima do circuito respiratório do paciente; C- área de respiração dos médicos cirurgiões e enfermeiro instrumentista; D - área próxima do equipamento de anestesia; E - área de respiração do anestesista e enfermeiro de anestesia).

Analisando a Fig. 4, foi verificado que além da variabilidade das concentrações residuais de desflurano e sevoflurano em cada ponto de medição no decorrer da operação cirúrgica, fica também evidente que ambos os gases apresentam uma distribuição não uniforme na sala operatória. Em relação ao desflurano, as concentrações mais elevadas foram registadas no ponto D (junto ao equipamento de anestesia) e as mais baixas no ponto C (área de respiração dos médicos cirurgiões e enfermeiro instrumentista). No ponto A, B e E ocorreram também de uma forma pontual níveis superiores a 2 ppm. Os

valores mais elevados resultaram de medições realizadas durante um período em que o sistema de exaustão dos gases halogenados esteve temporariamente desligado.

No que respeita ao sevoflurano, os registos mostraram um padrão ligeiramente diferente. Em termos gerais, apesar de se terem obtido valores superiores a 2 ppm, a ocorrência dos mesmos foi em número inferior ao encontrado para as cirurgias com utilização de desflurano. Além disso, apesar de o ponto D surgir igualmente como um dos que apresenta concentrações mais elevadas, foi no ponto B, próximo do circuito respiratório do paciente, que foi detetado o valor mais elevado. Como era esperado, o ponto A, junto à entrada da sala, registou, de uma forma muito sistemática, as concentrações mais baixas, ao contrário do que ocorreu nas cirurgias com desflurano.

Na sala de recobro (Fig. 5) vislumbramos aspetos similares aos já reportados para a sala de cirurgia, mas há um padrão mais característico e comum para os dois gases.

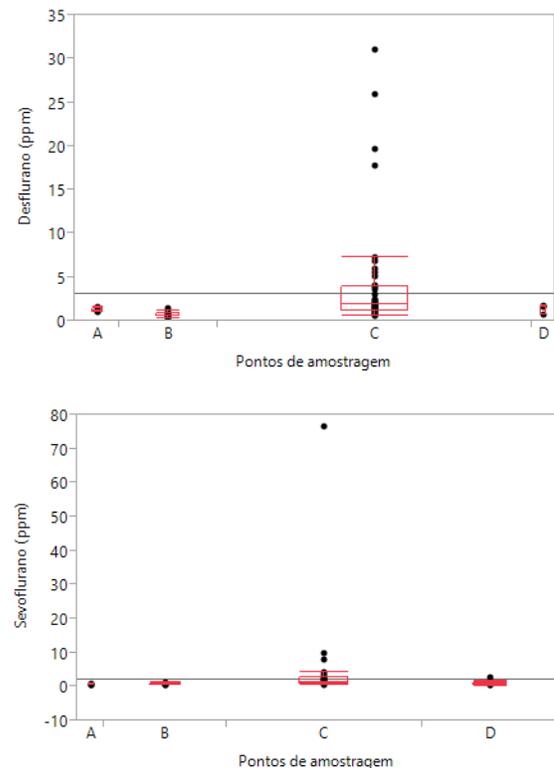


Fig. 5. Boxplot das variações das concentrações residuais de desflurano e sevoflurano no ar ambiente do SR por pontos de amostragem (A - área próxima do equipamento de anestesia; B - saída da sala; C- área de respiração do paciente 1; D - área de respiração do paciente 2).

Os pontos de medição A, B e D apresentaram uma baixa variabilidade, enquanto o ponto C (associados à área de respiração do paciente) se caracteriza por uma elevada variabilidade de valores, em particular para o

desflurano, sendo aquele que coloca este espaço como sendo o mais crítico dos avaliados. Assim, a área de risco foi somente o ponto de medição próximo ao paciente, após este ser submetido em anestesia geral com utilização de gases anestésicos. O sistema de ventilação existente não evitou esses valores mais elevados, mas certamente que contribuiu para a redução da exposição em áreas um pouco mais afastadas do paciente.

Em relação à zona de transferência (Fig. 6), os níveis de desflurano e de sevoflurano foram baixos em todos os locais monitorizados, embora apresentem alguma variabilidade dentro do intervalo registrado. Os valores mais elevados de desflurano ocorreram no dia em que o sistema de exaustão deste gás esteve desligado, conseguindo alcançar e acumular-se em locais mais distantes de onde foi utilizado.

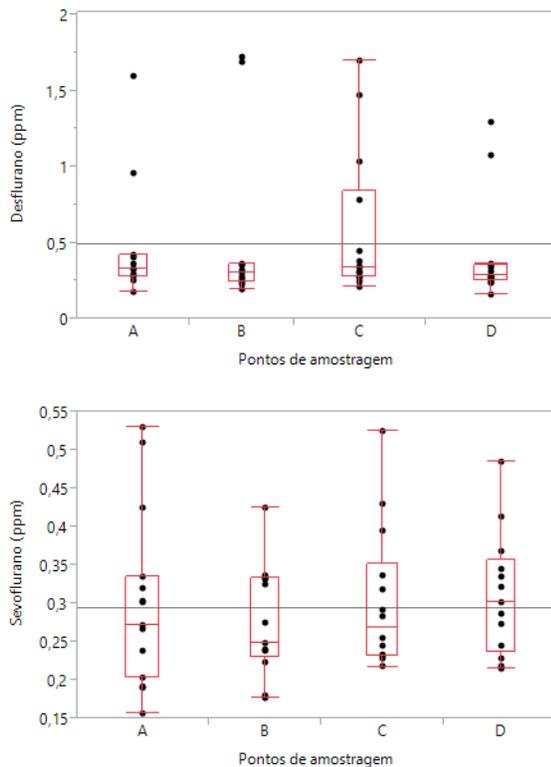


Fig. 6. Boxplot das variações das concentrações residuais de desflurano e sevoflurano no ar ambiente da ZT por pontos de amostragem (A- porta 1, B- janela, C- meio da sala e D- porta 2).

No corredor externo, não se detetou qualquer variabilidade espacial substancial, ainda que os pontos selecionados não representem espacialmente todo o espaço (Fig. 7).

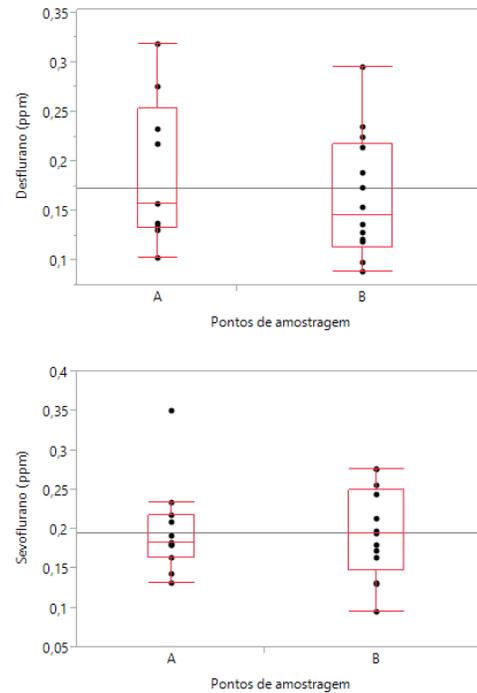


Fig. 7. Boxplot das variações das concentrações residuais do desflurano e sevoflurano no ar ambiente do CE durante as intervenções cirúrgicas, nos diferentes pontos de amostragem (A - entrada dos quartos masculino; B- área próxima à janela).

E. Avaliação quantitativa de situações críticas

Ainda que de forma muito simplista e técnica e cientificamente inadequada, decidimos fazer uma avaliação quantitativa das situações mais críticas, tendo por base o número total de amostras/medições realizadas, as concentrações dos gases halogenados obtidas para cada medição e o limiar recomendado pela NIOSH. Pois, importa referir que o limiar da NIOSH foi definido para um período de 1 hora e as nossas amostras apenas podemos considerá-las representativas de um período de 3 minutos.

A análise que se segue será restrita à sala de cirurgia e sala de recobro, por serem as duas onde ocorreram excedências do limiar da NIOSH, de acordo com a premissa referida no parágrafo anterior.

Na sala de cirurgia das 525 amostras, 7% dos resultados excederam o limiar. No ponto D – área próxima ao equipamento de anestesia -, das 7 amostras em não conformidade, 3 são do desflurano e 4 amostras do sevoflurano. A maioria dos resultados dos resíduos de desflurano em “não conformidade” encontrados na SCG ocorreram no dia em que o sistema de exaustão estava desligado. Das 30 amostras acima de 2 ppm, 23 aconteceram com este incidente detetado como uma falha humana, sendo 3 no ponto A (entrada da sala), 2 no ponto B (área próxima ao circuito respiratório do paciente), 6 no ponto C (área de respiração dos médicos cirurgiões e enfermeiro instrumentista, 3 no ponto D e

9 no ponto E (área de respiração do anestesista e enfermeiro de anestesia). Importa realçar que estas 23 amostras de “não conformidade” decorreram num período de 63 minutos de exposição, pelo que configuram uma situação indesejável e crítica. Esta situação é bem demonstrativa da importância de se ter um sistema de exaustão dos gases halogenados no bloco operatório, como também foi confirmado por Braz et al. (2017) [13].

Para o gás sevoflurano, somente 7 amostras excederam o limiar. Ou seja, mesmo com o sistema de exaustão funcionando corretamente, foi possível detetar algumas “não conformidades”. Duas delas foram no ponto B (área próxima do circuito respiratório do paciente), quatro no ponto D (área próximo do equipamento de anestesia) e uma no ponto E (área de respiração do anestesista e enfermeiro de anestesia). No ponto A e C não foram encontrados resultados de não conformidades para os resíduos de sevoflurano.

Em relação à sala de recobro, a percentagem de excedências foi mais elevada (21,5%), ou seja, das 135 amostras analisadas neste local, 29 foram superiores a 2 ppm, sendo 12 com observados para o sevoflurano e 19 para o desflurano (Fig. 8). Além do paciente estar expirando os gases inalados durante a anestesia, pode ser que o sistema de ventilação do recobro não seja suficiente. Este é um fator importante para ser discutido, pois a equipa médica não faz a utilização da máscara neste local, ficando totalmente exposta aos resíduos de gases anestésicos diariamente.

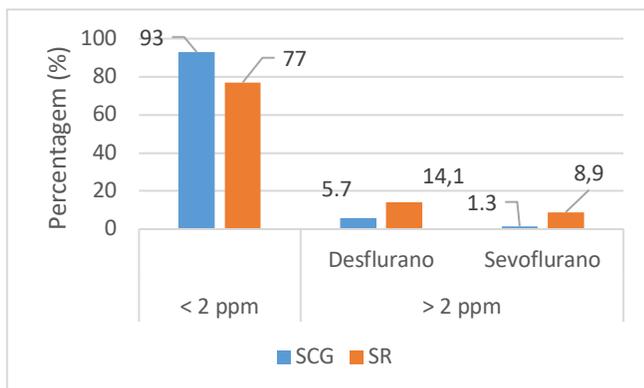


Fig. 8. Resultados das avaliações conformes e não conformes no recobro e sala de cirurgia em percentagem.

XII. CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido, ainda em fase de progresso, permitiu conhecer a dinâmica temporal e a variação espacial dos gases anestésicos e de outros parâmetros de conforto ambiental e de ventilação como o CO₂, HR e T em diferentes locais do bloco operatório

de uma unidade hospitalar, bem como de um local de acesso fácil e de passagem (Corredor Externo).

Portanto, o presente estudo, apresenta com algum detalhe as variações espaciais e de gases anestésicos e de outros parâmetros de QAI, podendo constituir um guia de referência para ajudar a definir metodologias em trabalhos futuros.

As médias da temperatura e humidade relativa do ar no bloco operatório do hospital encontram-se dentro das recomendações técnicas para instalações de AVAC em edifícios hospitalares, o qual adota o nível de humidade entre 30% e 60% e temperatura de 17°C a 27 °C. Entretanto, é importante que a verificação seja feita constantemente para garantir que a qualidade do ar no bloco esteja dentro dos padrões para a realização das tarefas dos trabalhadores, assegurando a sua saúde, visto que foram detetados resultados com a humidade muito baixa.

Os resultados do CO₂ indicaram que todo o bloco operatório do hospital é ventilado de forma adequada, ainda que pontualmente surjam situações que requeiram otimização do sistema de ventilação, como na SCG e SR, foram detetados algumas situações com alguma criticidade.

Os resultados dos resíduos de gases anestésicos permitiram ainda enfatizar a importância de um sistema de exaustão de gases halogenados eficaz no bloco operatório do hospital, sob pena de expor todos os ocupantes a valores preocupantes para o conforto e a saúde dos mesmos.

As situações mais críticas foram encontradas no recobro, principalmente no ponto C – área de respiração do paciente em que foi submetido a anestesia geral – para ambos os gases analisados (desflurano e sevoflurano). Isso acontece devido à expiração dos gases anestésicos utilizados durante a cirurgia, por parte do paciente. Mesmo sendo um local que possui boa ventilação, pode ser necessário que o hospital adquira um sistema de exaustão mais eficiente na SR. É importante ressaltar que os enfermeiros e médicos presentes neste ambiente estão expostos a estes resíduos diariamente, podendo adquirir problemas de saúde a longo prazo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para Ciência e Tecnologia (FCT, Portugal) e FEDER ao abrigo do Programa PT2020 pelo apoio financeiro ao CIMO [UID/AGR/00690/2019]. Os autores agradecem igualmente à equipa médica de enfermagem presente e funcionários do hospital pela cooperação neste estudo.

REFERÊNCIAS

- NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health. **Waste Anesthetic Gases: Occupational Hazards in Hospitals**. 2007.
- UHS – UNIVERSITY HEALTH SERVICES ENVIRONMENTAL & OCCUPATIONAL HEALTH. **Waste Anesthetic Gas (WAG) Scavenging System Guidance**. Madison, 2017. Disponível em: <https://www.uhs.wisc.edu/wp-content/uploads/2017_04_11_Waste-Anesthetic-Gas-Scavenging-System-Guidance.pdf>. Acesso em: 10 de jan. 2019.
- PAES, E. R. C.; BRAZ, M. G.; LIMA, J. T.; SILVA, M. R. G.; SOUSA, L. B.; LIMA, E. S.; VASCONCELLOS, M. C.; BRAZ, J. R. C. DNA damage and antioxidant status in medical residents occupationally exposed to waste anesthetic gases. **Acta Cirúrgica Brasileira**. Vol. 29, nº 4 (2014), p. 280-286.
- LUCIO, L. M. C.; BRAZ, M. G.; JUNIOR, P. N.; BRAZ, J. R. C.; BRAZ, L. G. Occupational hazards, DNA damage, and oxidative stress on exposure to waste anesthetic gases. **Revista Brasileira de Anestesiologia**. ISSN 0104-0014. Vol. 68, (2018) p. 33-41.
- SOUZA, K. M.; BRAZ, L. G.; NOGUEIRA, F. R.; SOUZA, M. B.; BINCOLETO, L. F.; AUN, A. G.; CORRENTE, J. E.; CARVALHO, L. R.; BRAZ, J. R. C.; BRAZ, M. G. Occupational exposure to anesthetic leads to genomic instability, cytotoxicity and proliferative changes. **Mutation Research**. Vol. 791-792, (2016) p. 42-48.
- LAWSON, C. C.; ROCHELEAU, C. M.; WHELAN, E. A.; HIBERT, E. N. L.; GRAJELSKI, B.; SPIEGELMAN, D.; RICH-EDWARDS, J. W. Occupational exposures among nurses and risks of spontaneous abortion. **American Journal of Obstetrics & Gynecology**. (2008) p. 327.e1-327.e8.
- McGREGOR, D. G. Occupational Exposure to Trace Concentrations of Waste Anesthetic Gases. **Mayo Clinic Proceedings**. ISSN 0025-6196. Vol. 75, (2000) p. 273-277.
- ASHRAE, (2013), ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Jones, B., Kirby, R., (2012), Indoor Air Quality in U.K. School Classrooms Ventilated by Natural Ventilation Windcatchers, *International Journal of Ventilation*, 10 (4), 323-337.
- National Institute for Occupational Safety and Health. 1977. *Criteria for a recommended standard: Occupational Exposure to Waste Anesthetic Gases and Vapors*. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health, Education, and Welfare. Public Health Service. Center for Disease Control. National Institute for Occupational Safety and Health. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/niosh/docs/77-140/default.html>>. Acesso em: 11 de jun. 2019.
- República Portuguesa – Portaria Nº 353/2013, de 04 de Dezembro de 2013 relativo aos valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior dos edifícios de comércio e serviços novos, sujeitos a grande intervenção e existentes e a respetiva metodologia de avaliação. *Diário da República*, 1ª série, Nº 235.
- Ministério da Saúde. 2008. *Especificações Técnicas para Instalações de AVAC – ET 06/2008*. Disponível em: <http://www.acss.min-saude.pt/wp-content/uploads/2016/09/Especificacoes_Tecnicas_06_2008.pdf>. Acesso em: 24 de jul. 2019. V. 2014. ISSN: 1646-821X.
- BRAZ, L. G.; BRAZ, J. R. C.; CAVALCANTE, G. A. S.; SOUZA, K. M.; LUCIO, L. M. C.; BRAZ, M. G. Comparação de resíduos de gases anestésicos em salas de operação com ou sem sistema de exaustão em hospital universitário brasileiro. **Revista Brasileira de Anestesiologia**. ISSN 0034-7094. Vol. 67, (2017) p. 516-520.
- DAVIS, R. E.; McGREGOR, G. R.; ENFIELD, K. B. Humidity: A review and primer on atmospheric moisture and human health. **Environmental Research**. Vol. 144, (2016) p. 106-116.

Análise da Eficiência do Tratamento de Eletrocoagulação de Efluente de Indústria Alimentícia: Eletrodos de Alumínio

Larissa da Silva, Tayla da Luz, Vanessa Yamanaka, Joseane Theodoro

Larissa Botura da Silva¹
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná – Câmpus Londrina
Londrina, Brasil
larissabotura@gmail.com

Tayla Gabriela da Luz²
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná – Câmpus Londrina
Londrina, Brasil
tayla_gabrielaa@hotmail.com

Vanessa Yukie Yamanaka³
Escola Superior Agrária
Instituto Politécnico de Bragança,
Campus de Santa Apolonia
Grabança, Portugal
vanessa.yukie.yamanaka@gmail.com

Joseane Debora Peruço Theodoro⁴
Departamento Acadêmico de
Engenharia Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná – Câmpus Londrina
Londrina, Brasil
joseanepth@gmail.com

Resumo: O presente trabalho estuda o tratamento do efluente proveniente de uma indústria alimentícia através do processo de eletrocoagulação para remoção dos parâmetros turbidez, cor aparente e acompanhamento dos parâmetros pH, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos. Os ensaios de eletrocoagulação realizados para tempos de 10, 20 e 30 minutos, com tempo de sedimentação de 10 minutos. O eletrodo usado foi o de alumínio. Avaliou os parâmetros do processo para obter o custo de operação do tratamento. O tratamento de 20 minutos do ensaio de eletrocoagulação foi considerado o mais eficiente em relação a remoção dos parâmetros físico-químicos avaliados. Avaliando o processo, o tempo de 10 minutos se mostrou mais viável economicamente para o tratamento do efluente, pois reduziu consideravelmente os poluentes e apresentou o menor custo de tratamento R\$ 0,77/m³.

Palavras Chave — Eletrodo de Alumínio; custo de operação; eletrocoagulação; efluente alimentício.

a. INTRODUÇÃO

A utilização de água pela indústria ocorre de diversas formas, que vão desde sua incorporação ao produto, lavagens e sistema de resfriamento até esgotos sanitários dos funcionários. Desse modo, independente do tipo de uso, ocorre à geração de resíduos ao final do processo, originando efluentes líquidos [1].

Depois de gerado, o resíduo industrial deve ser destinado corretamente e essa destinação só pode ocorrer após o tratamento dos mesmos, para que estejam dentro dos padrões de lançamento estabelecidos na legislação ambiental de modo a evitar a poluição.

[2] Salienta que ao lançar efluentes líquidos em cursos d'água pode alterar as características do meio, como pH, composição e concentração dos componentes

e temperatura. Além disso, as consequências dessas variações serão sentidas por todos que dependem, direta ou indiretamente, desse curso d'água.

Um efluente que não atenda as condições estabelecidas pela legislação deverá ser tratado, desse modo, faz-se necessária a implementação de um sistema de tratamento que seja adequado às características do efluente. Os tratamentos podem ser tanto físico-químicos quanto biológicos [2].

A eletrocoagulação vem se destacando dentre os tratamentos físico-químicos devido a sua eficiência na remoção de poluentes dos mais variados tipos de efluentes [3].

O processo de eletrocoagulação ocorre por meio da utilização de eletrodos de diferentes polaridades (cátodo e ânodo), gerando a desestabilização das moléculas presentes no líquido a ser tratado, onde, ao se aplicar a voltagem, o ânodo oxida e o cátodo sofre redução, o que resulta na formação eletroquímica do agente coagulante [4].

No processo de eletrocoagulação podem ser utilizados diversos modelos de reatores, que são compostos por placas metálicas (ou eletrodos de sacrifício), utilizam conexões elétricas em paralelo e são ligadas a uma fonte contínua de energia elétrica. Os eletrodos podem ser compostos de variados materiais, porém, ferro e alumínio são os mais utilizados por serem relativamente mais baratos e fáceis de serem encontrados e possuírem valência elevada [5].

A descarga do cátodo na solução do efluente gera uma interação do eletrodo de alumínio, causando um

efeito de coagulação que anula as cargas negativas das partículas e potencializa a reação do processo, havendo a formação de bolhas que vão propiciar a flotação das partículas sólidas [6].

Sendo assim, o presente trabalho tem como principais objetivos verificar a viabilidade da utilização da eletrocoagulação no tratamento de efluentes alimentícios industriais, acompanhar o comportamento dos parâmetros cor aparente, condutividade elétrica, pH, sólidos totais dissolvidos (TDS) e turbidez do efluente tratado com a eletrocoagulação; determinar o consumo e os custos da operação e ainda constatar se a qualidade do efluente tratado está de acordo com os padrões exigidos pela Resolução CONAMA n. 357/2005 [7].

^bMETODOLOGIA

O efluente bruto utilizado no presente estudo foi coletado no tanque da estação de tratamento de esgoto de uma indústria alimentícia, cuja produção envolve batata, amendoim e farofa. A montagem do reator de eletrocoagulação em nível de bancada se deu utilizando um sistema de eletrodos composto por dois ânodos e um cátodo, todos de alumínio (dispostos em paralelo), um recipiente de acrílico de 2L, um agitador magnético para manter o efluente em movimento e evitar a sedimentação das partículas e uma fonte com tensão de 12 volts e corrente elétrica contínua, conforme mostra a Fig. 1:

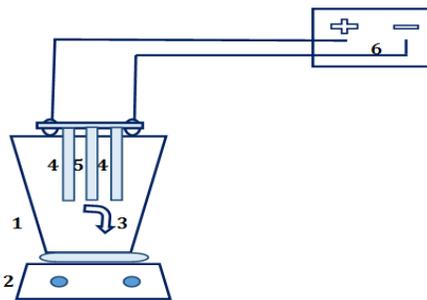


Fig. 2. Sistema de eletrocoagulação. 1) Reator – 2) Agitador – 3) Ponto de coleta – 4) Ânodo – 5) Cátodo – 6) Fonte 12 V.

O monitoramento e avaliação da eficiência do processo foi realizado por meio de análises das características físico-químicas dos efluentes. Foram analisados os seguintes parâmetros: sólidos totais dissolvidos, cor aparente, turbidez, pH e condutividade elétrica. Todas as metodologias aplicadas as análises foram baseadas no Método Padrão para Exame de Água e Esgoto – Standard Methods for Examination of Water and Wastewater [8], como mostra a Tabela I.

Parâmetro	Unidade	Metodologia	Equipamento
Cor Aparente	uH	2120-C	Espectrof. DR 5000 – HACH
Turbidez	uT	2130-B	Turbidímetro AP 2000 – Policontrol
Condutividade Elétrica	mS/m	2510-B	Cond. Digital Portátil CD 860 – Instrutherm
pH	-	4500 H*B	Medidor de pH de Bancada MPA 210 – Tecnoyon
Corrente Elétrica	A	-	Multímetro Digital
Sólidos Totais Dissolvidos	ppm	-	TDS meter

Fonte: [8]

O ensaio foi realizado em duplicata. Para obtenção de melhores resultados foram feitas análises dos parâmetros a partir da coleta do efluente nos tempos de 10, 20 e 30 minutos, com tempo de sedimentação de 10 minutos. Os parâmetros associados a operação do processo de eletrocoagulação, foram calculados a partir das Equações 1, 2, 3, 4 e 5.

Massa do Eletrodo Consumida (ou desgaste do eletrodo):

$$M_{el} = \frac{i \times t \times M}{F \times n} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: i = corrente elétrica (A);

t = tempo de aplicação da corrente ou tempo do processo (h);

M = massa molar do alumínio (g/mol);

n = número de elétrons envolvidos na reação de oxidação do ânodo;

F = constante de Faraday ($F = 9,65 \times 10^4$ C/mol).

Tempo para que ocorra o desgaste do eletrodo:

$$T = \frac{M_{el}}{\alpha \times i} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: T = tempo para que ocorra o desgaste M_{el} (h);

α = equivalente eletroquímico (g/Ah);

i = corrente elétrica (A).

Densidade de corrente:

$$\delta = \frac{i}{A_{anodo}} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: δ = densidade de corrente (A/m²);

i = corrente elétrica (A);

A_{anodo} = área total dos ânodos (m²).

Consumo de energia elétrica:

$$C = \frac{U \times i \times t}{v} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde: C = consumo de energia (Wh/m³);

U = tensão elétrica aplicada (V);

i = corrente elétrica (A);

t = tempo de aplicação da corrente ou tempo do processo (h);

v = volume do efluente tratado (m³).

Custo Operacional:

$$C_{\text{oper}} = a \times C_{\text{energ}} + b \times C_{\text{elet}} \quad (\text{Equação 5})$$

Sendo C_{oper} = custo total da operação do sistema (R\$/m³);

a = custo de energia elétrica (R\$/kWh);

C_{energ} = consumo de energia elétrica (kWh/m³);

b = custo dos eletrodos (R\$/kg de alumínio);

C_{elet} = consumo do eletrodo (kg/m³ água tratada).

Calcula-se o custo com a finalidade de comparar os gastos do processo e verificar a viabilidade de aplicação do mesmo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a coleta do efluente na estação de tratamento foi encaminhado para o laboratório da UTFPR- Campus Londrina e realizado a caracterização do efluente bruto que apresentou os resultados das análises de STD (509 ppm), turbidez (1115 uT), cor aparente (4150 uH), pH (6,84), condutividade elétrica (1,18 mS).

O tratamento do efluente foi de 20 minutos, sendo assim, este tempo foi fixado e variado 10 minutos na realização do ensaio. O tempo de sedimentação adotado para estes ensaios foi de 10 minutos e os ensaios foram realizados em duplicata. Os resultados dos parâmetros avaliados estão dispostos na Tabela II.

Parâmetro	Tempo de eletrocoagulação						
	bruto	10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min
Ensaios		1	2	3	4	5	6
TDS (ppm)	590	599	588	592	598	590	250
Cor aparente (uH)	4.150	3825	95	44	855	32	22
Turbidez (uT)	111,74	6,43	17	13,75	18,71	10,96	8,4
Cond. (mS)	1,18	1,24	1,29	1,26	1,3	1,23	1,2
pH	6.84	7,04	7,62	7,9	7,04	7,5	7,4

O pH aumentou com o passar do tempo 7,04-7,9. Este fenômeno foi descrito por Carvalho et al. 2017, o qual encontrou variação de pH na eletrólise de 6,8-7,8. Este fato é decorrente do processo de eletrocoagulação liberar íons OH⁻ em solução, deixando, assim, o efluente mais básico [9].

A condutividade não seguiu uma linearidade e as duplicatas não foram condizentes, sendo necessário realizar mais ensaios para verificar o padrão de comportamento. Pois sabe-se que o processo de eletrocoagulação pode liberar íons na água, sendo assim o esperado era de quanto maior o tempo de retenção do efluente, maior seria a condutividade devido a presença de mais íons no reator.

A porcentagem de remoção média da turbidez para o tempo de 10 minutos foi de 88,75%, seguido do tempo de 20 minutos 87,48% e 30 minutos de 90,07%. A turbidez mostrou uma grande eficiência nos três tempos avaliados mostrando um bom processo de eletroflotação, pois, por meio dos resultados é possível inferir que houve uma vultosa remoção de partículas coloidais. [9] Obtiveram 93% de remoção de turbidez utilizando efluente de coco. Já [10] obteve uma eficiência de remoção de turbidez de 97,91% quando aplicou eletrocoagulação no tratamento de efluente de uma indústria de panificação.

A cor aparente está associada às partículas coloidais e dissolvidas, a presença de partículas superiores a 1,2 µm, que conferem turbidez, facilita a nucleação resultando na remoção de cor [11]. Este fato pode explicar a satisfatória remoção de cor do efluente na qual as porcentagens de remoção obtidas para os tempos de 10, 20 e 30 minutos são respectivamente 55,38%, 98,46% e 99,2%. Os valores encontrados nestes ensaios

estão congruentes ao encontrado por [10] que apresentou uma remoção de cor aparente de 85,6%. As fotografias qualitativas do processo de eletrocoagulação e eletroflotação podem ser verificadas por meio da Fig. 2.

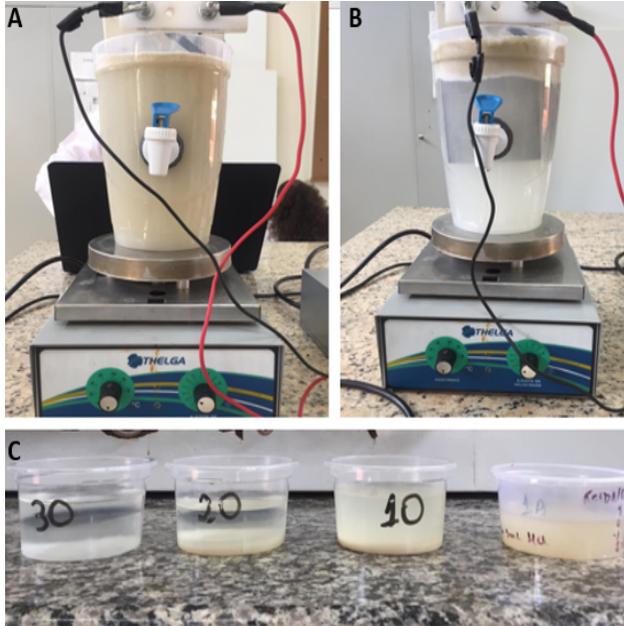


Fig. 2. Imagens do processo de eletrocoagulação/eletroflotação. A) Início do processo, B) Processo após 10 minutos, C) Comparação dos três ensaios e do efluente bruto.

Os valores obtidos com o tratamento podem ser visualizados por meio da Fig. 3. Na Fig. 3A encontra-se o gráfico de sólidos totais dissolvidos (TDS). Em relação aos ensaios, é possível verificar que apenas o ensaio 6, que corresponde a duplicata do ensaio de 60 minutos, apresentou uma remoção abaixo da solicitada pela resolução CONAMA N°357/05, cujo limite máximo é de 500 ppm. Os outros ensaios ultrapassaram este limite e igualaram/ou excederam o valor encontrado para o efluente bruto.

A Fig. 3B traz o gráfico de cor aparente, onde os ensaios 1 e 4 correspondentes ao tempo de 10 minutos, e o ensaio 2 corresponde ao tempo de 20 minutos, Estes resultados apresentaram valores acima do limite máximo permitido pela resolução CONAMA 357/05 – limite máximo de 75 uH. Os outros ensaios apresentaram valores aceitáveis em relação a legislação. Em todos os ensaios houve uma remoção de cor.

O gráfico de turbidez, demonstrado pela Fig. 3C, comprova que apenas o ensaio 4 não foi capaz de atender o limite de 100 uT estabelecido pela resolução N°357/05 do CONAMA. Todos os ensaios apresentaram boa eficiência quando comparado ao efluente bruto, comprovando que a eletrocoagulação e

eletroflotação é capaz de remover as partículas de sólidos em suspensão presentes no efluente.

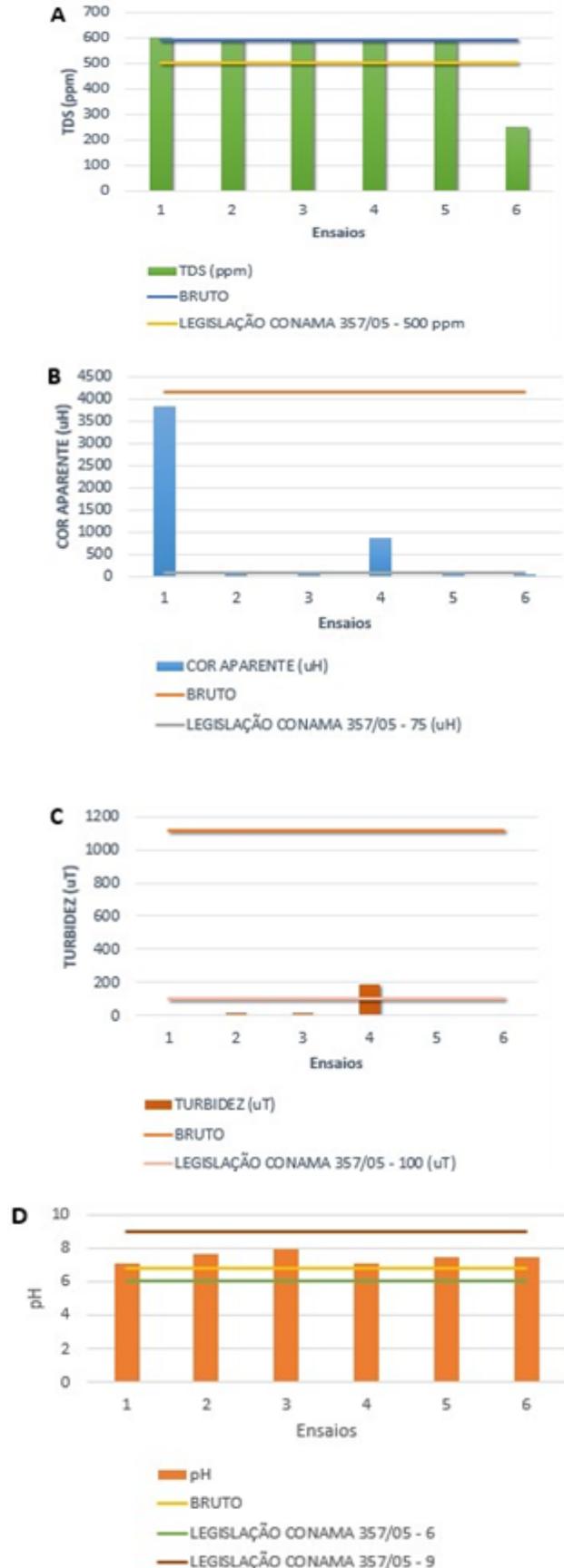


Fig. 3. Gráficos de parâmetros - A) Sólidos totais dissolvidos x ensaio. B) Cor aparente x ensaio. C) Turbidez x ensaio. D) pH x ensaio.

Na Fig. 3D consta os valores obtidos de pH onde verifica-se a evolução do pH em relação ao tempo de tratamento. Outra informação que a figura D demonstra é que todos os ensaios foram capazes de atenderem a faixa exigida pela resolução CONAMA 357/05 [7].

Mesmo os parâmetros não seguindo uma linearidade, é possível verificar uma grande porcentagem de remoção nos tempos de 20 e 30, sendo assim, a diferença entre estes tempos se torna insignificante quando comparado ao valor do efluente bruto. Visto que, o tratamento de eletrocoagulação e eletroflotação é um tratamento primário, é necessário a realização de um tratamento de polimento. Portanto, para redução de custos o tempo de 20 minutos seria o mais apropriado para se trabalhar com este efluente.

Os parâmetros resposta de operação do processo de eletrocoagulação se encontram na Tabela III.

PARÂMETROS RESPOSTAS DE OPERAÇÃO DO PROCESSO.

Na Tabela III encontra se os valores para os ensaios em duplicata dos tempos de 10, 20 e 30 minutos. No processo de eletrocoagulação e eletroflotação acontece o desgaste do eletrodo, esse desgaste pode ser demonstrado através da massa do eletrodo consumida. A menor massa consumida do eletrodo está nos tempos de 10 minutos com 0,062g e 0,064g, aumenta linearmente com o tempo, como já era esperado, com a maior massa consumida nos tempos de 30 minutos com valores de 0,191g e 0,182g.

O consumo da energia elétrica é outro parâmetro que é dependente do tempo, pois quanto maior o tempo do tratamento maior será a necessidade de energia para suprir o processo. Isto pode ser verificado na Tabela III, onde nos tempos de 10 minutos o consumo fica em torno de 1,11-1,15 KW.h/m³ chegando a 3,27-3,42 KW.h/m³ nos tempos de 30 minutos.

O custo de operação é um dos parâmetros mais relevantes e decisivos ao avaliar um processo de tratamento, os dados estão apresentados na Fig. 4.

Na análise do custo operacional, foi utilizado a Equação 5. O valor de energia utilizado foi de 0,63 kWh e o custo do material de alumínio R\$ 5,40 kg.

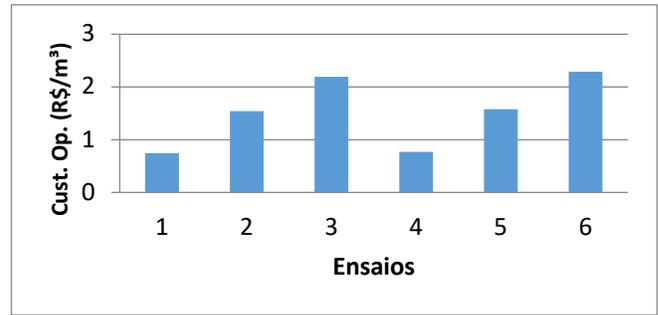


Fig. 4. Custo de operação do processo de eletrocoagulação para tratamento do efluente da indústria alimentícia em estudo.

Os melhores resultados de eficiência do tratamento estão associados ao tempo de 20 minutos, entretanto o tratamento precisara passar por um polimento, sendo assim, não é necessária a utilização do processo mais eficiente e sim do mais econômico.

A Fig. 4 apresenta a evolução do custo operacional em relação ao tempo de duração do ensaio, o menor custo de operação é proveniente do ensaio 1 e 4, no qual o tempo de retenção é de 10 minutos. Com o aumento do tempo de retenção para 20 e 30 minutos aumenta o

ENSAIO	T (min.)	Corrente (A)	Mel (g.)	Tmel (hora)	Dens. C (A/m ²)	Cons. E. (KW.h/m ³)	Cust. Op. (R\$/m ³)
1	10	1,11	0,062	0,166	27,75	1,11	0,745
2	20	1,15	0,128	0,333	28,75	2,3	1,544
3	30	1,09	0,182	0,500	27,25	3,27	2,195
4	10	1,15	0,064	0,166	28,75	1,15	0,772
5	20	1,18	0,131	0,333	29,5	2,36	1,584
6	30	1,14	0,191	0,500	28,5	3,42	2,296

custo operacional sobe para R\$ 1,5/m³, chegando ao valor máximo de R\$ 2,2/m³ respectivamente.

A indústria alimentícia, onde foi coletado o efluente bruto, conta com um tratamento físico-químico seguido de uma lagoa de lodo ativado. Como a eletrocoagulação/eletroflotação é um tratamento primário, será necessária a realização de outro tratamento para então a deposição no rio. Para nível de comparação foi considerado os custos com o tratamento apenas do físico-químico para maior precisão dos resultados.

Segundo dados da indústria alimentícia, o atual custo com o processo físico-químico é em média R\$ 3,70/m³, todos os ensaios se mostraram mais econômico que o tratamento convencional. Assim o tempo de 10 minutos gera uma economia de aproximadamente R\$

3,00/m³ tornando o processo de eletrocoagulação e eletroflotação economicamente viável, além de realizar a eliminação de produto química geralmente utilizada em processos de tratamentos convencionais.

CONCLUSÃO

O tratamento de eletrocoagulação e eletroflotação, utilizando eletrodos de alumínio, obteve resultados satisfatórios, mesmo o efluente da indústria alimentícia apresentando características muito variadas. O tratamento de 20 minutos do ensaio de eletrocoagulação foi considerado o mais eficiente em relação à remoção dos parâmetros físico-químicos avaliados. No entanto, os parâmetros não foram capazes de atingir o limite de lançamento estabelecido pela resolução CONAMA 357/05. Portanto é imprescindível a realização de um pós-tratamento para o polimento do efluente.

Avaliando o processo, o tempo de 10 minutos se mostrou mais viável para este efluente, pois reduziu consideravelmente os poluentes e apresentou o menor custo de tratamento R\$ 0,77/m³. O custo operacional do procedimento de eletrocoagulação e eletroflotação foi menor em relação ao tratamento convencional, expondo a grande vantagem desse tratamento economicamente e ambientalmente.

ACKNOWLEDGMENT

Os autores agradecem a UTFPR- Campus Londrina.

REFERENCES

- GIORDANO, G. Tratamento e Controle de Efluentes Industriais. Revista ABES, v. 4, Ed. 76, 81 f. 2004.
- NASCIMENTO, R. A. Desempenho de Reator Anaeróbio de Manta de Lodo Utilizando Efluentes Líquidos de Indústria Alimentícia. 117 f. 1996. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 1996.
- ALMEIDA, G. B. E. Influência da Velocidade de Rotação no Tratamento de Efluente Têxtil por Eletrocoagulação. 50 f. 2016. Trabalho de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.
- SOUZA, P. C.; PEREIRA, N. C.; KREUTZ, C.; SCHIAVON, G. J. ENEMP – Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. Aplicação de Processos de Coagulação/Floculação e Eletrocoagulação para o Tratamento de Efluente Têxtil. 2015. São Carlos.
- VALENTE, F. G. S.; MENDONÇA, R. C. S.; PEREIRA, J. A. M.; FELIZ, L. B. Avaliação do Custo de Energia Elétrica e de Material no Tratamento de Efluente de uma Indústria de Laticínios por Eletrocoagulação. In: III SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS. São Paulo, 2013.
- TAUCHERT, T. A. Desenvolvimento de um Sistema de Eletrocoagulação Aplicado ao Tratamento de Efluentes de Curtume. Trabalho de Conclusão de Curso. Novo Hamburgo, 2012.
- BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente, 2005.
- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 ed. Washington, 2012.

CRESPILHO, F.N., SANTANA, C.G., REZENDE, M.O.O. Tratamento de efluente da indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação. Química Nova, v. 27, n. 3, p. 387-392, 2004.

SANTANA, Marcela Marcondes de. Avaliação da eletrocoagulação como pré-tratamento de efluente de uma indústria de panificação. 2018. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

PAVANELLI, R. P. Curso Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos FísicoQuímicos, Notas de aula, EEUSP, 25 p. 2001.

Reduction of total phenols, total phosphorus and turbidity by uncatalytic oxidation processes in cheese whey wastewater

Ana Prazeres, Silvana Luz, Fálvia Fernandes, Eliana Jerónimo

Ana R. Prazeres
 Centro de Biotecnologia Agrícola e
 Agro-Alimentar do Alentejo
 (CEBAL)/Instituto Politécnico de Beja
 (IPBeja), 7801-908
 Instituto de Ciências Agrárias e
 Ambientais Mediterrânicas (ICAAM),
 Universidade de Évora, Pólo da Mitra,
 Ap. 94, 7006-554
 Beja and Évora, Portugal
 ana.prazeres@cebal.pt

Silvana Luz
 Centro de Biotecnologia Agrícola e
 Agro-Alimentar do Alentejo
 (CEBAL)/Instituto Politécnico de Beja
 (IPBeja), 7801-908
 Beja, Portugal
 silvana.g.luz@gmail.com

Flávia Fernandes
 Centro de Biotecnologia Agrícola e
 Agro-Alimentar do Alentejo
 (CEBAL)/Instituto Politécnico de Beja
 (IPBeja), 7801-908
 Beja, Portugal
 flavia.fernandes01@gmail.com

Eliana Jerónimo
 Centro de Biotecnologia Agrícola e
 Agro-Alimentar do Alentejo
 (CEBAL)/Instituto Politécnico de Beja
 (IPBeja), 7801-908
 Instituto de Ciências Agrárias e
 Ambientais Mediterrânicas (ICAAM),
 Universidade de Évora, Pólo da Mitra,
 Ap. 94, 7006-554
 Beja and Évora, Portugal
 eliana.jeronimo@cebal.pt

Abstract— This study reports the first time that cheese whey wastewater has been treated by the hydrogen peroxide oxidation alone (uncatalytic reaction). This oxidation type was capable of eliminating the total phosphorus content in about 46-53%, regardless of the dose applied (1-7 g L⁻¹). For total phenols contents, the oxidation system was capable of reducing around 40% under the lowest concentration investigated (1 g L⁻¹). Similar results were obtained for calcium content with a reduction of 55%. Turbidity was reduced in about 90% when hydrogen peroxide was applied with concentrations of 2, 3 and 7 g L⁻¹. Characteristics absorbances were reduced in the range of 12-83% depending on the operating conditions. Chemical oxygen demand (COD) was recalcitrant to hydrogen peroxide oxidation alone (uncatalytic reaction), needing a post-treatment.

Keywords—cheese effluents, chemical oxidation, uncatalytic reaction, hydrogen peroxide, treated effluent

INTRODUCTION

Cheese whey is simultaneously a strong wastewater for the environment and public health and an interesting resource for the production of value added products [1]. The properties of cheese whey wastewater differ significantly, depending on type of milk processed, system type, amount of cheese whey produced and valorized, quality and quantity of cleaning water used. Cheese whey wastewater is principally constituted by

fractions of milk, cheese whey and washing water with alkaline and acidic compounds coming from the washing of equipment and tanks.

Cheese whey wastewater presents high content of organic matter evaluated by chemical and biochemical oxygen demand (COD and BOD) due to the presence of proteins, fats and lactose [2]. Consequently, this wastewater is responsible for high consumption of oxygen in receptor mediums. The levels of nitrogen and phosphorus are related with a high risk of eutrophication in receiving waters [2]. Additionally, cheese whey wastewater exhibits high salinity and total suspended solids content and biodegradability, and low pH and alkalinity, needing an adequate management. The BOD/COD ratio presents values above 0.5, being an important substrate for anaerobic and aerobic degradation [2].

Several technologies have been investigated to deal with this complex problem, principally biological processes [3-8]. Despite the high removal of organic matter [9,10], biological processes present complications in the stability of the reactors. In this sense, cheese effluents have a relation of carbon, nitrogen and phosphorus of C/N/ P \approx 200/3.5/1, being deficient in nitrogen for aerobic and anaerobic

technologies [2]. On the other hand, biological processes need a high hydraulic retention time and treated effluents present organic matter above the discharge limit. Thus, some physicochemical processes have emerged to address the problems of biological processes.

Coagulation-flocculation with FeSO_4 , FeCl_3 and $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ [11,12], alkaline and acid precipitation with NaOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and H_2SO_4 [12-16] and oxidation processes with O_3 , $\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$, $\text{O}_3+\text{N-150}$ ($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-MnOx}$), $\text{O}_3+\text{Mn-Ce-O}$ (70/30) [17] and Fenton [18] have been applied. Martins and Quinta-Ferreira [17] and Martins et al. [18] reported the reduction of organic matter by oxidation processes in pretreated cheese whey wastewater. However, no study reports the reduction of total phenols, total phosphorus and turbidity by oxidation processes in raw cheese whey wastewater. Furthermore, no study mentioned the treatment of cheese wastewater using hydrogen peroxide alone (uncatalytic reaction). Thus, in this work, cheese whey wastewater has been treated by oxidation process with hydrogen peroxide alone using different concentrations ($1\text{-}7\text{ g L}^{-1}$). The effect of the oxidation process under different concentrations of H_2O_2 on pH, conductivity, characteristics absorbances, calcic and magnesium hardness, alkalinity, COD, total phosphorus, turbidity and total phenols was investigated.

f. MATERIALS AND METHODS

a. Reagents

Hydrogen peroxide 100 volumes ($> 30\%$ w/v, $M=34.0\text{ g mol}^{-1}$) was obtained from Fisher Chemical. Chemical reagents were of analytical grade.

b. Cheese whey wastewater collection

Cheese wastewater was coming from an enterprise located in the Alentejo region, Portugal, being collected in a tank. The enterprise has several types of cheeses (sheep and goat cheeses). Polyethylene terephthalate (PET) containers at $-20\text{ }^\circ\text{C}$ and $4\text{ }^\circ\text{C}$ were used to store the raw wastewater before characterization and treatment.

c. Methods

pH was measured using a meter Consort C 861 (Consort nv, Belgique). Temperature and conductivity were monitored in a VWR CO 3100 H apparatus using an electrode VWR CO 11.

Characteristic absorbances were evaluated, after appropriate dilution, in the ultraviolet and visible region using a Thermo Scientific Helios α spectrophotometer (Thermo Scientific, Germany). In the ultraviolet region, absorbances at wavelengths of 220 and 254 nm were measured, while in the visible region, absorbances at wavelengths of 410 and 600 were evaluated. The absorbances at 220, 254, 410 and 600 nm indicate the presence of low molecular weight compounds (simple molecules) formed from complex molecules (humic

acids); high molecular weight organic compounds with high degree of aromaticity, high number of double and triple bonds, and phenolic groups; color indicator and optical density of the microorganisms cultures, respectively, [19-25]. Specific absorbance was calculated multiplying the absorbance and dilution used according to Standard Methods [19]

Turbidity was obtained in a WTW Turb550 turbidimeter (WTW, Germany), comparing white light transmitted by the samples and formazine standard suspensions [19,26,27]. COD was evaluated by colorimetric method after a digestion step ($150\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ for 2 hours) in a digester Techne Dri-block DB 200/3 (ERT Lda, Portugal) [19,26].

Total phosphorus content was monitored after calcination at $600\text{ }^\circ\text{C}$ during 2 hours and digestion step with HCl 6 N solution using a heating/stirring plate. The digested samples were filtered using filters WhatmanTM 1001. Total phosphorus was obtained through a colorimetric method by measuring the absorbance at 470 nm after the reaction of orthophosphates with vanadate-molybdate reagent [19]. Total hardness was evaluated by volumetric complexation method and eriochrome black T indicator, while calcium hardness was monitored using the presence of calcon indicator [19]. Magnesium hardness was calculated by difference between total hardness and calcium hardness.

Volumetric method using a solution of known concentration of hydrochloric acid and phenolphthalein indicator and indicator of methyl orange was applied to determine phenolphthalein alkalinity and methyl orange alkalinity. The sum of alkalinity to phenolphthalein and alkalinity to methyl orange corresponds to the total alkalinity.

The spectrophotometric method using the Folin-Ciocalteu phenol reagent was applied to evaluate the total phenols content [28].

d. Experimental procedure

Experiments were developed using 250 mL of raw wastewater. In chemical oxidation, the oxidant (H_2O_2) was added to raw wastewater, which was in agitation of 1200-1400 rpm, to reach concentrations of 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 g L^{-1} . The samples remained with the oxidant under stirring during 24 hours at 1200-1400 rpm. Then, stirring was gradually decreasing (700-800 rpm for 1 min followed by 300-400 rpm for 1 min) and particle agglomerates, suspensions and foams sedimented during 24 hours. Samples were allowed to stand for 72 hours before analysis.

g. RESULTS AND DISCUSSION

a. Cheese whey wastewater characterization

Cheese wastewater characterization is presented in Table 1.

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF CHEESE WHEY WASTEWATER

Parameter	Units	Interval
pH	Sorensen scale	4.162-4.675
Conductivity	dS m ⁻¹	4.86-5.54
Absorbance at 220 nm	(dilution 1:25)	0.599-0.700
Absorbance at 254 nm	(dilution 1:25)	0.157-0.196
Absorbance at 410 nm	(dilution 1:25)	0.083-0.101
Absorbance at 600 nm	(dilution 1:25)	0.053-0.071
Total alkalinity	mg CaCO ₃ L ⁻¹	1155.4-1708.5
Bicarbonates	mg CaCO ₃ L ⁻¹	1155.4-1708.5
Total hardness	mg CaCO ₃ L ⁻¹	934.6-1347.5
Calcic hardness	mg CaCO ₃ L ⁻¹	487.9-675.6
Magnesium hardness	mg CaCO ₃ L ⁻¹	296.5-709.4
Calcium	mg L ⁻¹	195.6-270.8
Magnesium	mg L ⁻¹	72.1-172.4
COD	mg L ⁻¹	4416.7-5250.0
Turbidity	NTU	536.49-659.73
Total phosphorus	mg L ⁻¹	1796.1-4894.1
Total phenols	mg equivalent of gallic acid L ⁻¹	65.00-82.86

COD – Chemical oxygen demand.

The raw wastewater had a whitish color, solids and fats in suspension. Thus, cheese whey wastewater presented turbidity in the range of 536.49-659.73 NTU. Cheese whey wastewater exhibited pH in the range of 4.162-4.675. Similar results were obtained by Gavala et al. [7], Martins et al. [18] and Rivas et al. [11]. A conductivity range of 4.86-5.54 dS m⁻¹ was noticed by raw cheese whey wastewater.

Cheese whey wastewater is a resilient organic effluent with COD values in the range of 4416.7-5250.0 mg L⁻¹. These values were higher than those obtained by Fang [8]. Raw wastewater had nutrients in its composition, such as total phosphorus (1796.1-4894.1 mg L⁻¹), calcium (195.6-270.8 mg L⁻¹) and magnesium (72.1-172.4 mg L⁻¹). Bicarbonates and calcium contents are responsible for alkalinity and hardness, respectively.

b. Chemical oxidation with hydrogen peroxide alone

Chemical oxidation has been applied for the treatment of water and wastewater using different reagents, including hydrogen peroxide in combinations,

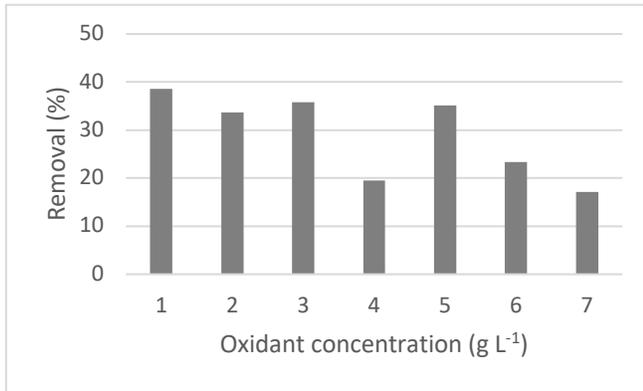
ozone, chlorine dioxide, sodium hypochlorite, and potassium permanganate. However, the application of hydrogen peroxide alone has rarely been reported. Oxidation with hydrogen peroxide presents several advantages, namely, simplicity of application. This oxidant can reduce organic and inorganic contaminants in industrial wastewater. Thus, in this work, different doses of hydrogen peroxide were applied for the treatment of cheese whey wastewater in order to eliminate total phenols, total phosphorus and turbidity. Furthermore, the effect of the oxidation process under different concentrations of H₂O₂ on pH, conductivity, characteristics absorbances, calcic and magnesium hardness, alkalinity and COD was also studied.

B.1. Total phenols removal

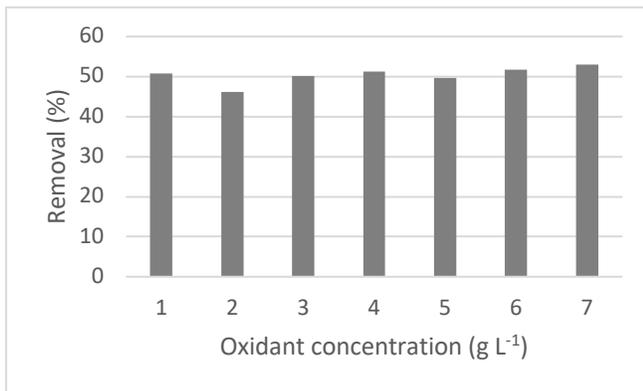
The effect of oxidation process with hydrogen peroxide on the removal of total phenols is presented in Figure 1. In general, low concentrations of oxidant (1-3 g L⁻¹) allowed the total phenols removal above 30%. Similar results were obtained for a concentration of oxidant of 5 g L⁻¹. High concentrations of oxidant (4, 6 and 7 g L⁻¹) led to the reduction of the elimination of total phenols. In such cases, removals of 17-23% were obtained. The lower removal of total phenols at high concentrations may be due to the consumption of hydrogen peroxide by the radicals formed during the oxidation process. Similar results were obtained by Madeira et al. [29] when treating slaughterhouse wastewater with oxidation processes.

B.2. Total phosphorus and COD removal

The effect of oxidation process with hydrogen peroxide on the removal of total phosphorus is displayed in Figure 2. Oxidation with hydrogen peroxide led to the reduction of total phosphorus in the range of 46-53%, regardless of the dose applied (1-7 g L⁻¹). In this work, COD was recalcitrant to hydrogen peroxide. In contrast, Ksibi [30] obtained the reduction of COD, offensive odor and foaming by increasing dose of hydrogen peroxide.



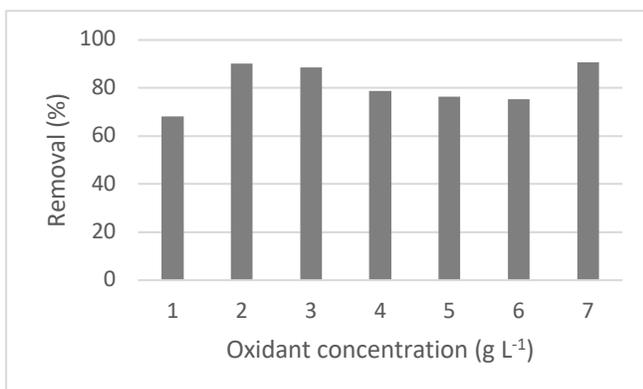
Effect of hydrogen peroxide oxidation on the removal of total phenols.



Effect of hydrogen peroxide oxidation on the removal of total phosphorus.

B.3. Turbidity removal

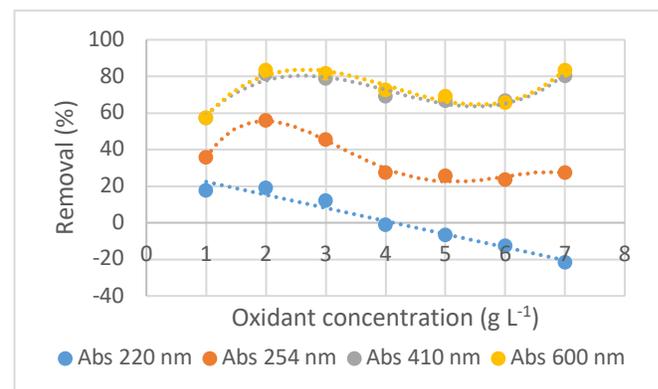
The effect of oxidation process with hydrogen peroxide on the removal of turbidity is shown in Figure 3. The application of low concentration of oxidant (1 g L⁻¹) led to the reduction of 68%. The increase of oxidant doses (2-3 g L⁻¹) dealt with rise of turbidity removal in the range of 89-90% due to the action of hydroxyl radicals coming from the oxidation process. However, when increasing the concentration of oxidant to values in the range 4-6 g L⁻¹, a reduction in the elimination of turbidity (75-79%) was observed. At high concentration (7 g L⁻¹), a high efficiency (91%) of the removal of turbidity was achieved.



Effect of hydrogen peroxide oxidation on the removal of turbidity.

B.4. Characteristics absorbances removal

The effect of oxidation process with hydrogen peroxide on the removal of characteristics absorbances is presented in Figure 4. The application of low concentration of oxidant (1, 2 and 3 g L⁻¹) led to the elimination of absorbance at 220 nm in the range of 12-19%. Notwithstanding, the increase of oxidant doses (≥ 4 g L⁻¹) dealt with the increase of low molecular weight compounds (simple molecules) (7-22%) formed from complex molecules (humic acids). This effect can be explained through the breaking of bonds in complex molecules due to the action of hydrogen peroxide and its radicals. The application of oxidant concentration of 2 g L⁻¹ induced to the increase of the removal of absorbance at 254 nm (56%), decreasing until an oxidant concentration of 5 g L⁻¹ (26%). From this point, the removal maintained practically constant (24-27%). Reduction of substituents of the aromatic rings was obtained by Zouari [31] when treating olive oil mill effluent by oxidation with hydrogen peroxide. The reduction of absorbance at 410 and 600 nm presented similar behavior. Thus, the application of 2 g L⁻¹ increased the absorbances removal (81-83%), decreasing until an oxidant concentration of 6 g L⁻¹. At high concentration (7 g L⁻¹), a high efficiency (80-83%) in the removal of absorbances at 410 and 600 nm was succeeded. Ksibi [30] also obtained the reduction of microorganisms (number of total coliforms) by increasing the concentration of oxidant.

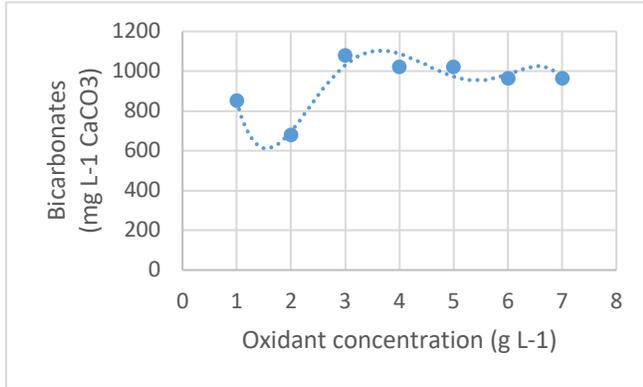


Effect of hydrogen peroxide oxidation on the removal of absorbances.

B.5. Bicarbonates concentration

Phenolphthalein alkalinity and alkalinity to methyl orange were determined. The alkalinity was present in the form of bicarbonates. The effect of oxidation process with hydrogen peroxide on the concentration of bicarbonates is shown in Figure 5. The application of low concentration of oxidant (1 g L⁻¹) generated a treated

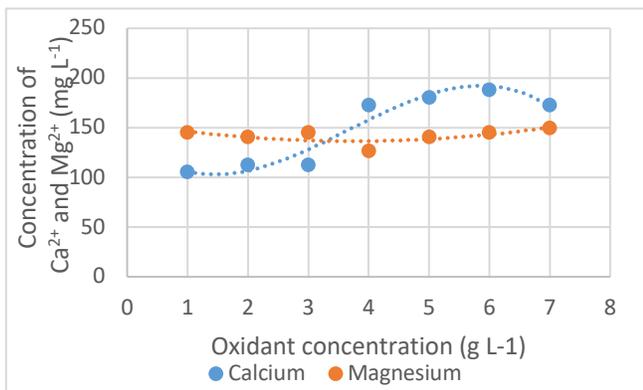
effluent with bicarbonates concentration of $850.1 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$, reducing the concentration to values of 677.8 mg L^{-1} when using 2 g L^{-1} of oxidant. From oxidant concentration $\geq 3 \text{ g L}^{-1}$, the oxidation system produced a treated effluent with bicarbonates concentration in the range of $965.0\text{-}1079.8 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$.



Effect of hydrogen peroxide oxidation on the concentration of bicarbonates.

B.6. Calcium and magnesium concentration

The effect of oxidation process with hydrogen peroxide on the concentration of calcium and magnesium is exhibited in Figure 6. The magnesium concentration remained practically constant ($126.8\text{-}149.6 \text{ mg L}^{-1}$). At low oxidant concentrations ($1, 2$ and 3 g L^{-1}), oxidation system brought the high calcium removal ($52\text{-}55\%$), producing a treated effluent with a calcium concentration in the range of $105.3\text{-}112.8 \text{ mg L}^{-1}$. When applying high concentrations of oxidant ($\geq 4 \text{ g L}^{-1}$), the calcium removal decreased to values in the range of $20\text{-}27\%$, generating a treated effluent with calcium concentration in the range of $173.0\text{-}188.0 \text{ mg L}^{-1}$.

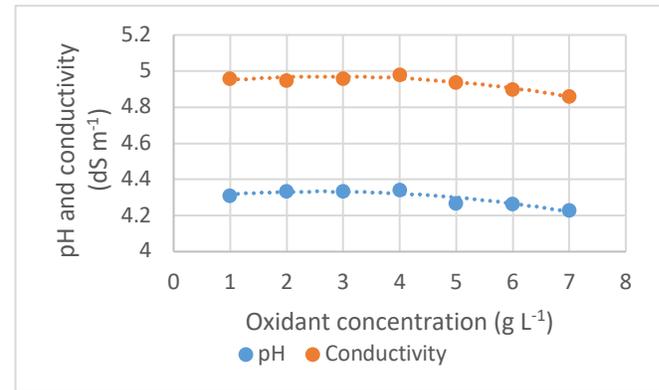


Effect of hydrogen peroxide oxidation on the concentration of calcium and magnesium.

B.7. pH and conductivity

The effect of oxidation process with hydrogen peroxide on the pH and conductivity is exposed in Figure 7. Oxidant concentrations higher than 5 g L^{-1} induced a small reduction in conductivity and pH. Treated effluent

presented values of pH and conductivity in the ranges of $4.23\text{-}4.34$ and $4.86\text{-}4.98 \text{ dS m}^{-1}$, respectively.



Effect of hydrogen peroxide oxidation on the pH and conductivity.

h. CONCLUSIONS

Cheese whey wastewater is a strong effluent in terms of salinity, acidity, phenolic, nutritional and organic contamination. Thus, the present work investigated a simple process for the treatment of cheese whey wastewater using hydrogen peroxide oxidation alone. Oxidation system was able to reduce characteristics absorbances at $220, 254, 410$ and 600 nm , calcium, turbidity, total phenols and total phosphorus. Treated effluent can be post-treated by biological processes or reused for agricultural purposes.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank to the Alentejo Regional Operational Program (ALENTEJO 2020, Portugal 2020) for the financing of the HYDROREUSE project - Treatment and reuse of agro-industrial wastewater using an innovative hydroponic system with tomato plants (ALT20-03-0145-FEDER-000021), through the Regional Development European Fund (FEDER). The authors want to thank the FCT - Foundation for Science and Technology for the PhD scholarship awarded to Silvana Luz (SFRH/BD/129849/2017), The authors also thank the Guilherme cheese factory for the supply of raw wastewater.



REFERENCES

- R. K. Dereli, F. P. van der Zee, I. Ozturk, and J. B. van Lier, "Treatment of cheese whey by a cross-flow anaerobic membrane bioreactor: Biological and filtration performance", *Environ. Res.*, vol. 168, pp. 109-117, 2019.

- A. R. Prazeres, F. Carvalho, and J. Rivas, "Cheese whey management: A review", *J. Environ. Manage.*, vol. 110, pp 48-6815, 2012.
- M.-Y. Sultana, C. Mourtiri, T. Tatoulis, C.S. Akratos, A.G Tekerlekopoulou, and D.V. Vayenas, "Effect of hydraulic retention time, temperature, and organic load on a horizontal subsurface flow constructed wetland treating cheese whey wastewater", *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, vol. 91 (3), pp. 726-732, 2016.
- N. S. Tehrani, G. D. Najafpour, M. Rahimnejad, and H. Attar, "Performance of upflow anaerobic sludge fixed film bioreactor for the treatment of high organic load and biogas production of cheese whey wastewater", *Chem. Ind. Chem. Eng. Q.*, vol. 21 (2), pp. 229-237, 2015.
- J.L.R. Gutiérrez, P.A.G. Encina, and F. Fdz-Polanco, "Anaerobic treatment of cheese-production wastewater using a UASB reactor", *Bioresour. Technol.*, vol. 37 (3), pp. 271-276, 1991.
- S.V. Kalyuzhnyi, E.P. Martinez, and J.R. Martinez, "Anaerobic treatment of high-strength cheese-whey wastewaters in laboratory and pilot UASB-reactors", *Bioresour. Technol.*, vol. 60 (1), pp. 59-65, 1997.
- H. N. Gavala, H. Kopsinis, I. V. Skiadas, K. Stamatelidou, and G. Lyberatos, "Treatment of dairy wastewater using an upflow anaerobic sludge blanket reactor", *J. Agric. Eng. Res.*, vol. 73 (1), pp. 59-63, 1999.
- H. H. P. Fang, "Treatment of wastewater from a whey processing plant using activated sludge and anaerobic processes", *J. Dairy Sci.*, vol. 74 (6), pp. 2015-2019, 1991.
- K. Yang, Y. Yu, and S. Hwang, "Selective optimization in thermophilic acidogenesis of cheese-whey wastewater to acetic and butyric acids: partial acidification and methanation", *Water. Res.*, vol. 37 (10), pp. 2467-2477, 2003.
- M. Rodgers, X.-M. Zhan, and B. Dolan, "Mixing characteristics and whey wastewater treatment of a novel moving anaerobic biofilm reactor", *J. Environ. Sci. Health, Part A Toxic/Hazard Subst. Environ. Eng.*, vol. A39 (8), pp. 2183-2193, 2004.
- J. Rivas, A.R. Prazeres, F. Carvalho, and F. Beltrán, "Treatment of cheese whey wastewater: combined coagulation-flocculation and aerobic biodegradation", *J. Agric. Food Chem.*, vol. 58 (13), pp. 7871-7877, 2010.
- A. R. Prazeres, J. Rivas, U. Paulo, F. Ruas, and F. Carvalho, "Sustainable treatment of different high-strength cheese whey wastewaters: an innovative approach for atmospheric CO₂ mitigation and fertilizer production", *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 23 (13), pp. 13062-13075, 2016b.
- J. Rivas, A. R. Prazeres, and F. Carvalho, "Aerobic biodegradation of pre-coagulated cheese whey wastewater", *J. Agric. Food Chem.*, vol. 59 (6), pp. 2511-2517, 2011.
- A. Prazeres, F. Carvalho, and J. Rivas, "Cheese whey wastewater treatment by acidic precipitation". Proceedings of XIV World Water Congress, International Water Resources Association and Water and Energy Resources Secretariat of Pernambuco State, September, Porto de Galinhas-PE, Brazil, 2011.
- A. R. Prazeres, J. Rivas, M. A. Almeida, M. Patanita, J. Dôres, and F. Carvalho, "Agricultural reuse of cheese whey wastewater treated by NaOH precipitation for tomato production under several saline conditions and sludge management", *Agric. Water Manage.*, vol. 167, pp. 62-74, 2016.
- A. R. Prazeres, F. Carvalho, J. Rivas, M. Patanita, and J. Dôres, "Growth and development of tomato plants *Lycopersicon Esculentum* Mill. under different saline conditions by fertirrigation with pretreated cheese whey wastewater", *Water Sci. Technol.*, vol. 67 (9), pp. 2033-2041, 2013.
- R. C. Martins, and R. M. Quinta-Ferreira, "Final remediation of post-biological treated milk whey wastewater by ozone", *Int. J. Chem. React. Eng.*, vol. 8 (1) [Article A142], 2010.
- R.C. Martins, A.F. Rossi, S. Castro-Silva, and R.M. Quinta-Ferreira, "Fenton's process for post-biologically treated cheese production wastewaters final remediation. Toxicity assessment", *Int. J. Chem. React. Eng.*, vol. 8 (1), Article A84, 2010.
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), and Water Environment Federation (WEF), Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th Edition, APHA-AWWA-WEF. Washington D.C., United States, 1998.
- M. Megharaj, S. Avudainayagam, and R. Naidu, "Toxicity of hexavalent chromium and its reduction by bacteria isolated from soil contaminated with tannery waste", *Curr. Microbiol.*, vol. 47 (1), pp. 51-54, 2003.
- J. Świetlik, A. Dąbrowska, U. Raczek-Stanisławiak, and J. Nawrocki, "Reactivity of natural organic matter fractions with chlorine dioxide and ozone", *Water Res.*, vol. 38 (3), pp. 547-558, 2004.
- F.J. Rivas, F. Beltrán, F. Carvalho, B. Acedo, and O. Gimeno, "Stabilized leachates: sequential coagulation-flocculation + chemical oxidation process", *J. Hazard. Mater.*, vol. 116 (1-2), pp. 95-102, 2004.
- F.J. Rivas, F. Beltrán, F. Carvalho, O. Gimeno, and J. Frades, "Study of Different Integrated Physical-Chemical + Adsorption Processes for Landfill Leachate Remediation", *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 44 (8), pp. 2871-2878, 2005.
- B. Kasprzyk-Hordern, U. Raczek-Stanisławiak, J. Świetlik, and J. Nawrocki, "Catalytic ozonation of natural organic matter on alumina", *Appl. Catal., B*, vol. 62 (3-4), pp. 345-358, 2006.
- U. Iriarte-Velasco, J.I. Álvarez-Uriarte, and J.R. González-Velasco, "Enhanced coagulation under changing alkalinity-hardness conditions and its implications on trihalomethane precursors removal and relationship with UV absorbance", *Sep. Purif. Technol.*, vol. 55 (3), pp. 368-380, 2007.
- C.N. Sawyer, P.L. McCarty, and G.F. Parkin, "Chemistry for Environmental Engineering", 4th Edition, McGraw-Hill, Inc. New York, United States, 1994.
- Metcalf and Eddy, "Wastewater Engineering, Treatment and Reuse", 4th Edition, McGraw-Hill, New York, United States, 2003.
- V.L. Singleton, and J.A. Rossi, "Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents", *Am. J. Enol. Vitic.*, vol. 16, pp. 144-158, 1965.
- L. Madeira, F. Fernandes, A. Almeida, F. Carvalho, E. Jerónimo, and A. R. Prazeres, "Aplicação de oxidação química para o tratamento de águas residuais de matadouro", 14º Congresso da água: Gestão dos recursos hídricos novos desafios, Évora, 2018.
- M. Ksibi, "Chemical oxidation with hydrogen peroxide for domestic wastewater treatment", *Chem. Eng. J.*, vol. 119 (2-3), pp 161-165, 2006.
- N. Zouari, "Decolorization of olive oil mill effluent by physical and chemical treatment prior to anaerobic digestion". *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, vol. 73 (3), pp. 297-303, 1998.

Uso eficiente da água em condições de clima Mediterrânico. Um caso de estudo na cultura da romãzeira.

Ramôa, Parenzan, Fialho, Guerreiro, Soldado, Catronga, Gonzalez García, Jerónimo, Oliveira e Silva

S. Ramôa
Departamento de Biociências
Instituto Politécnico de Beja
Beja, Portugal
sramoa@ipbeja.pt

S. Parenzan
Departamento de Biociências
Instituto Politécnico de Beja
Beja, Portugal
silvia.parenzan@gmail.com

L. Fialho
Centro de Biotecnologia Agrícola e
Agro-Alimentar do Alentejo (CEBAL)
Instituto Politécnico de Beja
Beja, Portugal
leticia.fialho@cebal.pt

I. Guerreiro
Departamento de Biociências
Instituto Politécnico de Beja
Beja, Portugal
iguerreiro@ipbeja.pt

D. Soldado
Centro de Biotecnologia Agrícola e
Agro-Alimentar do Alentejo (CEBAL)
Instituto Politécnico de Beja
Beja, Portugal

H. Catronga
Trevo - Floresta, Agricultura e
Ambiente, Lda
Beja, Portugal
hilario.catronga@otrevo.pt

V. Gonzalez García
Instituto de Investigaciones Agrarias
Finca La Orden-Valdesequera
Centro de Investigaciones Científicas y
Tecnológicas de Extremadura
Badajoz, Espanha
valme.gonzalez@juntaex.es

E. Jerónimo
Centro de Biotecnologia Agrícola e
Agro-Alimentar do Alentejo (CEBAL)
Instituto Politécnico de Beja
Beja, Portugal
ICAAM – Instituto de Ciências
Agrárias e Ambientais Mediterrânicas
Universidade de Évora
Évora, Portugal
eliana.jeronimo@cebal.pt

P. Oliveira e Silva
Departamento de Biociências
Instituto Politécnico de Beja
Beja, Portugal
VALORIZA – Centro de Investigação
para a Valorização de Recursos
Endógenos
Instituto Politécnico de Portalegre
Portalegre, Portugal
pedrosilva@ipbeja.pt

Abstract— *A romãzeira é uma cultura muito bem adaptada ao clima Mediterrânico que, nos últimos anos, surge na forma de pomares intensivos de regadio na região do Alentejo. O objetivo deste trabalho é avaliar duas estratégias de rega deficitária controlada (25% da ETc na fase de floração-início da formação do fruto e 25% ETc na fase final de crescimento do fruto-maturação), na produção e na qualidade dos frutos da romãzeira, comparando-as com a estratégia de rega praticada pelo agricultor, visando o conforto hídrico (100% ETc). O ensaio decorre na região do Baixo Alentejo, num pomar com cerca de 5 anos (cv. Wonderful). O efeito destas estratégias foi avaliado periodicamente através do crescimento vegetativo e estado hídrico das plantas. Foi quantificada a produção assim como as propriedades físico-químicas e nutricionais do fruto após colheita. Os resultados preliminares de 2018 sugerem que a estratégia de rega deficitária aplicada próximo da maturação do fruto, poderá incluir-se num dos novos itinerários técnicos na cultura da romãzeira, no sentido de aumentar o uso eficiente de água contribuindo, assim, para a mitigação do impacto das alterações climáticas sobre a agricultura de regadio.*

Keywords— *rega deficitária controlada, Punica granatum L., cv. Wonderful, produtividade, qualidade do fruto.*

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o interesse crescente da romã, devido aos seus efeitos benéficos para a saúde e ao elevado valor comercial do fruto, tem contribuído para a expansão da cultura da romãzeira nas novas áreas de regadio do Alentejo, sob a forma de pomares intensivos. O sucesso da cultura resulta da boa adaptação da planta às condições de clima Mediterrânico – caracterizado por verões quentes e variabilidade do regime de precipitações (tanto intra-anual como inter-anual) – o que permite atingir bons níveis de produção e qualidade do fruto, desde que a cultura tenha disponibilidade de água, fornecida através da rega [1,2].

Contudo, o recurso à rega será condicionado pelo sentido da modificação climática, antecipando alguns modelos de previsão de riscos de seca, para esta Região, uma evolução para condições de maior aridez [3]. Neste contexto, sendo a agricultura o maior consumidor de água à escala global, sobretudo devido a atividades água-intensivas como a rega [4], menor disponibilidade de água doce representará uma restrição direta à agricultura de regadio, que compete diretamente com

outros consumidores como as famílias, a indústria e a produção de energia [5].

Assim, a gestão da rega destes pomares tem que ser cada vez mais orientada para o uso eficiente, racional e sustentado da água, substituindo o método de gestão tradicional por estratégias conservativas, de que é exemplo a Rega Deficitária Controlada (RDC) [6]. A RDC baseia-se no princípio de que a transpiração das plantas - que se adaptam à menor disponibilidade hídrica através do fecho dos estomas e da redução da área foliar - é mais sensível ao *stress* hídrico e aos sinais químicos com origem na raiz por este induzidos, como a produção de ácido abísico, do que o processo fotossintético e o crescimento dos frutos/grãos [7]. Sob RDC as plantas são sujeitas, durante um determinado período do ciclo cultural, a um certo nível de *stress*, que pode influenciar positivamente a produção e a qualidade do produto [2].

No entanto, para a concretização destes objetivos - redução do consumo de água, com aumento da eficiência da rega e da produtividade da água - será essencial garantir o apoio técnico necessário aos agricultores de regadio [8], constituindo a escassez de informação sobre a gestão da rega na cultura da romãzeira, nomeadamente em Portugal, uma limitação importante, particularmente para a definição dos níveis de *stress* hídrico a aplicar sob RDC. Os resultados disponíveis mostram que a utilização da RDC não compromete a qualidade global do fruto, podendo até promover o aumento do teor em sólidos solúveis totais e quantidade de compostos bioativos na romã [2]. Também num dos trabalhos sobre a utilização desta estratégia de rega, realizado em pomares da região de Alicante, em Espanha, foi observado um aumento do número de frutos à colheita, apesar do menor peso obtido, com a aplicação da RDC na fase de floração / início da formação do fruto, enquanto que o recurso a RDC na fase de maturação conduziu a um ligeiro efeito no peso final dos frutos obtidos [9].

Neste contexto, a RDC é uma estratégia possível de ser aplicada na cultura da romãzeira para aumentar a eficiência do uso da água [9] e, assim, contribuir para a mitigação dos efeitos das alterações climáticas sobre as fruteiras na região Mediterrânea. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o impacto de duas estratégias de RDC, na produção e na qualidade dos frutos da romãzeira, comparativamente com a rega do agricultor, orientada para o conforto hídrico da planta. Os resultados apresentados neste trabalho foram obtidos no primeiro ano de ensaio (2018).

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio de campo decorreu no concelho de Beja, numa exploração agrícola comercial, o Monte das Carvoeiras (37.99734 N, 7.81038 W, 236 m altitude), encontrando-se o ensaio localizado numa parcela ocupada pela variedade Wonderful, implantada com um compasso 5.5 m x 3.5 m. O local caracteriza-se por uma topografia

com declive suave apresentando o solo, de textura franco-argilo-arenosa, um teor médio de matéria orgânica de aproximadamente 2.2 %. O sistema de rega gota-a-gota é constituído por gotejadores auto-compensantes, com débito 2.2 l.h⁻¹, embebidos e distanciados entre si de 0.5 m.

O clima Mediterrânico regional é, na classificação de Köppen, mesotérmico húmido com estação seca e quente no Verão (Csa) [10]. Os valores observados no ano 2018 na Estação Meteorológica da Quinta da Saúde do Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio (COTR) (latitude 38° 02' N, longitude 7° 53' W e altitude 206 m), localizada a cerca de 8 km do local onde decorreu o ensaio de campo, apresentam-se na Figura 1.

O ensaio foi delineado em quadrado latino. As modalidades incluíram três estratégias de rega: C (controlo) - rega do agricultor com o objetivo de atingir 100% ETC; duas estratégias de rega deficitária controlada, RDC1 - 25% da dotação de rega do agricultor durante a floração e fase inicial da formação do fruto - e RDC2 - 25% da dotação de rega do agricultor durante a fase final do crescimento do fruto e a maturação.

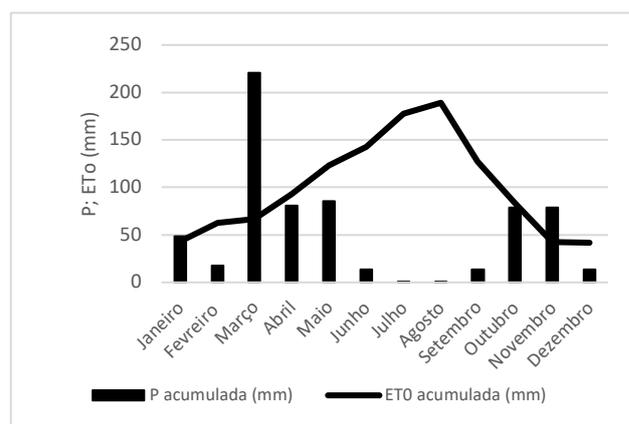


Figura 2 - Valores da precipitação e da evapotranspiração de referência, no ano de 2018.

No Quadro 1 apresentam-se os valores em mm das quantidades de água aplicadas em 2018, em cada modalidade, durante o ciclo cultural.

1. Quadro 1 - Dotações de rega durante o ciclo cultural.
- 2.

	C	RDC1	RDC2
Início da Rega		29/03/2018	
Fim da Rega		10/11/2018	
Período de Stress	---	29/6 a 30/7	10/9 a 30/10

Rega (mm)	274.9	247.4	234.9
-----------	-------	-------	-------

Para avaliar a resposta da romãzeira à estratégia de rega aplicada, monitorizaram-se, com uma periodicidade praticamente semanal, 9 árvores por tratamento, nas duas linhas centrais de cada modalidade, desde finais de junho até meados de novembro. Nestas 27 árvores foram também quantificados os parâmetros obtidos no final do ciclo: produção total por árvore (kg), diâmetro dos frutos e número de frutos rachados por árvore.

3. Para análise do impacto da estratégia de rega sobre a qualidade e valor nutricional do fruto foram recolhidas 5 romãs por árvore. Em cada uma das romãs foram avaliados os seguintes parâmetros físico-químicos: peso do fruto, diâmetro transversal e longitudinal, cor do fruto (casca), peso da fração comestível (bagos) e da fração não comestível (casca e membranas internas), e nos bagos foi analisada a cor, firmeza, teor em sólidos solúveis totais, acidez titulável, pH, teor em fenóis totais e atividade antioxidante. As determinações da cor na casca e bagos foram realizadas através do sistema CIELAB (L^* , a^* e b^*), recorrendo a um colorímetro CR-400 (Konica Minolta, Japão). Na casca foram realizadas 4 medições ao longo do plano equatorial. Para a avaliação da cor nos bagos foi utilizado o acessório CR-A50 (Konica Minolta, Osaka, Japão), com três medições em cada fruto. A firmeza dos bagos de romã foi determinada utilizando-se um texturometro (TA. HDPlus, Stable Micro Systems, Reino Unido) equipado com uma célula de carga de 5 kg. Em 10 bagos escolhidos aleatoriamente por cada romã foi determinada a força máxima necessária para que uma sonda cilíndrica de 35 mm (P/35) comprima o bago a uma profundidade de 5 mm, com uma velocidade de 1 mm/s. Todas as medições foram realizadas a 20 °C e os resultados foram expressos em N. As determinações de pH, teor em sólidos solúveis totais, acidez titulável, teor em fenóis totais e atividade antioxidante foram realizadas no sumo de romã. O teor em sólidos solúveis totais foi determinado num refratómetro digital (RX-5000 α , Atago, Japão) a 20 °C, e os resultados expressos em °Brix. A acidez titulável

foi determinada por titulação com NaOH 0,1 N de 1 mL de sumo diluído em 10 mL de água destilada após adição de indicador de fenolftaleína (1%). Os resultados foram expressos em % de ácido cítrico. O pH foi medido num potenciómetro (C861, Consort, Turnhout, Bélgica), a temperatura ambiente. A quantificação de fenóis totais nos bagos de romã foi realizada pelo método Folin-Ciocalteu [11]. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico (EAG) por g (mg EAG/100 mL). A atividade antioxidante foi avaliada pelo método de redução do ferro [12] e pelo método da captura do radical ABTS^{•+} (2,2'-azinobis 3-ethylbenzothiazoline 6-sulfonate) [13]. Os resultados foram expressos em mg de equivalente de Fe por 100 mL de sumo (mg EFe/100 mL) e em mg de equivalentes de Trolox por 100 mL de sumo (mg ETrolox/100 mL), respetivamente.

^kRESULTADOS E CONSIDERAÇÕES

No Quadro 2 apresentam-se os valores médios das variáveis monitorizadas para caracterização da produção da cultura da romãzeira sob as diferentes estratégias de rega.

4. Quadro 2 - Efeito da estratégia de rega sobre a produção e suas componentes.

5.

Estratégia de rega	C	RDC1	RDC2	EPM	Valor de P
Produção total (kg/árvore)	43,3	38,6	40,6	2.22	ns
Peso da romã de maior calibre (kg/árvore)	37,9 ^a	30,3 ^b	33,4 ^{ab}	1.70	< 0.05
Peso da romã de menor calibre (kg/árvore)	5,3	8,3	7,2	1.27	ns
Nº total de frutos/árvore	119	122	118	9.08	ns
Nº de frutos rachados/árvore	10 ^b	37 ^a	23 ^{ab}	5.52	< 0.05

C – Controlo; RDC1 – floração/frutificação; RDC2 – frutificação/maturação; EPM – Erro Padrão da Média;

Em cada linha, médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0.05$).

As análises de variância (Quadro 2) permitem concluir que só a produção de romã de maior calibre e o número de frutos rachados foram significativamente influenciados pela estratégia de rega. A comparação de médias pelo teste de Tukey mostra que a estratégia RDC1 resulta numa diminuição do peso total de romãs de maior calibre e no aumento do número de frutos rachados, comparativamente com o tratamento controlo ($P < 0,05$). Para os vários parâmetros utilizados para caracterização da produção a estratégia RDC2 não diferiu do tratamento controlo.

6. Os resultados médios obtidos para os vários parâmetros físico-químicos determinados no fruto e bagos são apresentados nos Quadros 3 e 4, respetivamente. De entre os parâmetros físico-químicos analisados apenas a % de fração comestível e não comestível da romã ($P = 0,023$) e o teor em sólidos solúveis totais foram afetados pelo sistema de rega ($P < 0,001$). Ambos os sistemas de RDC resultaram numa maior % de fração comestível que a rega do agricultor (50,0 % vs 46,9 %). O teor em sólidos solúveis totais foi maior nas romãs da estratégia RDC2 comparativamente com as outras estratégias de irrigação aplicadas (17,0 vs 15,7 °Brix).

7.

8. Quadro 3 - Parâmetros físico-químicos do fruto.

9.

10.	Fruto
13.	Peso (g)
16.	Diâmetro equatorial (mm)
19.	Altura (mm)
22.	Fração comestível
25.	Fração não comestível
28.	Parâmetros da cor
31.	L^*
34.	a^*
37.	b^*

40.
 C^*

43.
 H^*

46. DP – Desvio Padrão

47.

48. Quadro 4 - Parâmetros físico-químicos e atividade antioxidante dos bagos de romã.

49.

50. Bagos

53. Parâmetros da cor

56. L^*

59. a^*

62. b^*

65. C^*

68. H^*

71. pH

74. Textura (N)

77. Sólidos solúveis totais (°Brix)

80. Ácido z titulável (% ácido cítrico)

83. Fenóis totais (mg EAG/100 mL sumo)¹

86. Atividade antioxidante

89.
FRAP (mg
EFe/100 mL
sumo)²

92.
ABTS (mg
ETrolox/100
mL sumo)³

95. DP – Desvio Padrão; ¹EAG – Equivalentes de ácido gálico;

96. ²EFe – Equivalentes de Fe; ³ETrolox – Equivalentes de Trolox

97.

A análise preliminar dos resultados sugere que o recurso à rega deficitária pode contribuir para uma maior eficiência do uso da água de rega, aumentando a sustentabilidade ambiental desta cultura de regadio. Do ponto de vista da produção da cultura e qualidade do fruto, a estratégia RDC2 (redução da dotação de rega no período frutificação/maturação) revelou-se a mais interessante como alternativa ao controlo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Dinc, N., Aydinsakir, K., Isik, M., Bastug, R., Ari, N., Sahin, A., Buyuktas, D. (2018). Assessment of different irrigation strategies on yield and quality characteristics of drip irrigated pomegranate under mediterranean conditions. *Irrigation Science*, 36:87-96. doi: <https://doi.org/10.1007/s00271-017-0565-5>
- [2] Galindo, A.; Collado, J., Griñán, I., Corell, M., Centeno, A., Martín-Palomo, M. J., Giron, I., Rodríguez Hernández, P., Cruz Pérez, Z., Memmi, H., Carbonell-Barrachina, A., Hernandez, F., Torrecillas, A., Moriana, A., Pérez López, D. (2018). Deficit irrigation and emerging fruit crops as a strategy to save water in Mediterranean semiarid agrosystems. *Agricultural Water Management*, 202: 311-324. doi: 10.1016/j.agwat.2017.08.015
- [3] Guerreiro, S. B., Kilsby, C., Fowler, H. J. (2017). Assessing the threat of future megadrought in Iberia. *International Journal of Climatology*, 37:5024-5034. doi: 10.1002/joc.5140
- [4] Morillo, J., Díaz, J., Camacho, E., Montesinos, P. (2015). Linking water footprint accounting with irrigation management in high value crops. *Journal of Cleaner Production* 87: 594-602.
- [5] Müller, C., Elliott, J. (2015) The Global Gridded Crop Model Intercomparison: Approaches, insights and caveats for modelling climate change impacts on agriculture at the global scale. Em: *Climate change and food systems: global assessments and implications for food security and trade*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- [6] Parvizi, H., Sepaskhah, A. R., Ahmadi, S. H. (2014). Effect of drip irrigation and fertilizer regimes on fruit yields and water productivity of a pomegranate (*Punica granatum* (L.) cv. Rabab) orchard. *Agricultural Water Management*, 146:45-56. doi: <https://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.005>
- [7] Wilkinson, S., Hartung, W. (2019). Food production: reducing water consumption by manipulating long-distance chemical signalling in plants. *Journal of Experimental Botany*, 60 (7): 1885–1891. Doi:10.1093/jxb/erp121
- [8] Pereira, L., Cordery, I., Iacovides, I. (2012). Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural Water Management* 108: 39– 51.
- [9] Intrigliolo, D. S., L. Bonet, L., Nortes, P. A., Puerto, H., Nicolas, E., Bartual, J. (2013). Pomegranate trees performance under sustained and regulated deficit irrigation. *Irrigation Science*, 31: 959–970. Doi: 10.1007/s00271-012-0372-y
- [10] Reis, R., Gonçalves, M. (1987). O clima de Portugal. Fascículo XXXIV. Caracterização climática da região agrícola do Alentejo. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica. Lisboa.
- [11] Falleh, H., Ksouri, R., Chaieb, K., Karray-Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba, M. and Abdelly, C. (2008). Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities. *Comptes Rendus Biologies* 331:372-379. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.02.008>
- [12] Benzie, I. F. F., Strain, J. J. (1999). Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration, in: *Methods in Enzymology*. pp. 15–27. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99005-5](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99005-5)
- [13] Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.* 26, 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado no âmbito do projeto INNOACE “Innovación abierta e inteligente en la

EUROACE”, com a referência 0049_INNOACE_4_E. (tarefa 2.1.6.); os autores manifestam, também, o seu agradecimento ao Eng.º Daniel Montes da Empresa Trevo pela disponibilização do local e pelas condições proporcionadas para a realização do ensaio; este trabalho é também um contributo para o projecto Engage-SKA.

.

Biogas and Biodiesel Production for Use in Urban Bus Fleet: A Panoramic View in the city of Volta Redonda-RJ, Brazil

Kátia de Oliveira, João Travessa, Fernanda Figueiredo, Aldara César, Ronney Boly

Rio de Janeiro, Brasil

aldaracesar@id.uff.br

Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
(CEFET/RJ)

Rio de Janeiro, Brasil

ronney.boly@cefet-rj.br

Kátia Ferreira de Oliveira
Grupo de Empreendedorismo, Energia,
Meio ambiente e

Tecnologia (GEEMAT)

Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
(CEFET/RJ)

Rio de Janeiro, Brasil

katia.oliveira@aluno.cefet-rj.br

João Victor Batista Travessa
Grupo de Empreendedorismo, Energia,
Meio ambiente e

Tecnologia (GEEMAT)

Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
(CEFET/RJ)

Rio de Janeiro, Brasil

joabot@poli.ufrj.br

Fernanda Abreu de Moraes
Figueiredo
Grupo de Empreendedorismo, Energia,
Meio ambiente e

Tecnologia (GEEMAT)

Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
(CEFET/RJ)

Rio de Janeiro, Brasil

fernandaabreu@id.uff.br

Aldara da Silva César
Grupo de Análises de Sistemas
Agroindustriais (GASA)

Universidade Federal Fluminense

Ronney Arismel Mancebo Boly
Grupo de Empreendedorismo, Energia,
Meio ambiente e

Tecnologia (GEEMAT)

Abstract—This paper describes the potential of biogas and biodiesel production in the city of Volta Redonda in the State of Rio de Janeiro, Brazil. Biogas is obtained from municipal solid waste and biodiesel from waste cooking oil. The potential we have examined comprise is based on the literature review about the current state of production and the use of biogas and biodiesel blends feeding in dual-fuel internal combustion engines coupled in urban buses, as well the estimation of the potential production of biogas and biodiesel. The biogas production is predicted based on the amount of the municipal solid waste generated in the Volta Redonda and the average biogas production from this waste, while biodiesel is predicted to be produced from volumes production of waste cooking oil in the city. The potential production of biogas and biodiesel in the city of Volta Redonda will increase accordingly: i) biogas production: 6.17 million cubic meters in 2008 to 9.06 million cubic meters in 2030; ii) biodiesel production: 2.12 million liters in 2018 to 2.33 million liters in 2030. In order to attain this potential, using one bus MAN D0834 230, equipped with the internal combustion engine of 166 kW running in dual mode, powered using blends of biogas and biodiesel generated in Volta Redonda is possible to achieve an autonomy over 9 million km per year for this bus, in urban flat areas, with an the average speed of 40km/ h. We suggest that the use of diesel mineral in buses can be replaced by biogas and biodiesel blends. With this new solution based on energetic valorization of wastes, biogas and biodiesel offer potential for applications in public transport.

Keywords— Potential, waste cooking oil, waste landfill, biogas, biodiesel

¹INTRODUCTION

The world has an energy matrix composed mainly of non-renewable sources, with the share of renewable sources only 14% [1]. In Brazil, this scenario is different: renewable sources account for almost 44% [1].

One common drawback of the amount of energy consumed by non-renewable sources directly impacts the amount of greenhouse gases (GHG) emissions [1]. Despite Brazil's prominent position compared to the world in the global energy matrix, the Brazilian transport sector is extremely dependent

TABLE I SHARE OF EMISSIONS FOR FOSSIL FUEL BURNING

Subsectors of Energetic Matrix	Share of emissions	Share of total emissions
Energetic	14.5 %	3.1 %
Industrial	34.4 %	7.3 %
Transport	40.9 %	8.6 %

Residential	4.6 %	1.0 %
Agriculture	4.4 %	0.9 %
Others	1.1 %	0.2 %

SOURCE: [3]

on fossil fuels and its derivatives. Only 20% of the energy consumed in this sector comes from renewable sources such as biodiesel and ethanol [1]. The contribution of this sector in Brazil's GHG emissions make Brazil the seventh-largest emitter of GHG in the world [2].

There are many GHG, among them, CO₂. This is the gas that most contributes to global warming, as well as the most emissions from GHG [4]. Table I shows the share of emissions (as a percentage of CO₂ equivalent) for fossil fuel burning per subsector of the Brazilian energy matrix.

The burning of fossil fuels in the transportation subsector corresponds to 8.6 % of total Brazilian GHG emissions are the largest emitter of CO₂ in the energy matrix [3].

There have been significant advances worldwide in the biofuel production such as biogas and biodiesel from wastes urban, agroindustry, pecuary, etc. Biogas and Biodiesel blends using in urban bus fleet can provide additional advantages in minimization of GHG emissions so that replace of diesel mineral in urban bus fleet can be achieved.

The urban bus can be equipped with dual fuel (combined use of biodiesel and biogas) conversion kit coupled to compression ignition combustion motor - CICM. The kit allows for CICM operation on different biogas-biodiesel blends proportions.

This is a possible way to minimize GHG emissions in the transport sector with use biogas and biodiesel blends in the urban bus fleet and these biofuels offer a relevant potential of production from wastes. Additionally, opens the way to the diversification of the energy matrix, aggreging value of the many industrial production chains through reducing inadequate waste disposal in the environment.

In this paper, detailed bibliographical analysis of the opportunities offered by biodiesel and biogas, used as fuels, instead of diesel, as well as the challenges of using these fuels. in urban transport. Subsequently, the potential for landfill biogas production in the city of Volta Redonda-RJ, Brazil, is evaluated as a background for calculations, with values calculated in the last year on the collection of solid urban waste from the city, whose destination is a landfill. Finally, the calculation of biodiesel production potential from waste cooking oil, considering the generation of this waste in this city.

METHODOLOGY

The methodology adopted for the development of this research is based on the literature review about the current state of production and the use of biogas and biodiesel as biofuels in dual-fuel engines of urban buses. For this, the Capes Journal Portal was used to conduct research in English and Portuguese, with the keywords of this work and their combinations, selecting the most relevant and adhering to the proposal of this paper. In addition, data available on official federal government websites were considered, such as the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), the Brazilian Vegetable Oil Industry Association (ABIOVE), and records reports from the Volta Redonda City Hall.

a. Estimation of the potential biogas production from waste landfill

To calculate the biogas production potential from municipal solid waste, the following equations adapted from [5]:

$$V_L = F \cdot V_T \quad (1)$$

Where: F = percentage of municipal solid waste (MSW) sent to landfills; V_T = total volume of solid waste in landfill (in kg/y).

$$Q_{LCH_4} = \frac{f_L \cdot V_L \cdot E_{col}}{1000} \quad (2)$$

Where: Q_{LCH_4} = Methane flow produced annually in landfills [m³/y]; f_L = biogas production factor by tons of solid waste in m³/ton of MSW; V_L = Volume of MSW sent to landfills in kg/y; 1000 = factor for unit adjust and E_{col} = landfill gas collection efficiency.

The landfill gas collection efficiency is between 50 and 60% [5]. However, engineering a Chinese landfill with adapted facilities, such as deep vertical wells and horizontal drainage ditches were effective in reducing the high level of leachate, resulting in increased efficiency of landfill gas collection, reaching 60 to 90% [6]. This paper will consider the average of 75%.

Table II shows the suggested values of methane production potential, according to considering three levels of Suggested values for methane production potential waste degradability [7]. By classifying them, it is possible to separate

SHARE OF EMISSIONS FOR FOSSIL FUEL BURNING

MSW Type	CH ₄ production factor in m ³ /ton of waste		
	Minimum value	Average value	Maximum value
Relatively inert	5	15	25
Moderately degradable	140	170	200
Highly degradable	225	262.5	300

Source:[7]

the volume of landfill according to the respective methane production potential values.

The waste landfill, can be classified according to the source of origin of the waste and varies according to the economic level and consumption habits of each country [8]. The following waste classification can be considered according to the economic position of Brazil, as shown in figure 1.

b. Estimation of the potential biodiesel production from waste cooking oil

To calculate the potential for biodiesel production, from waste cooking oil, was considered the following adapted equations of [9]:

$$m_{ester} = conversion (\%) \times 3 \times \frac{m_{wco}}{MW_{wco}} \times MW_{ester} \quad (3)$$

Where: m_{ester} = weight of ester collected (g); m_{wco} = weight of the waste cooking oil (g); MW_{wco} = averaged molecular weight of waste cooking oil.

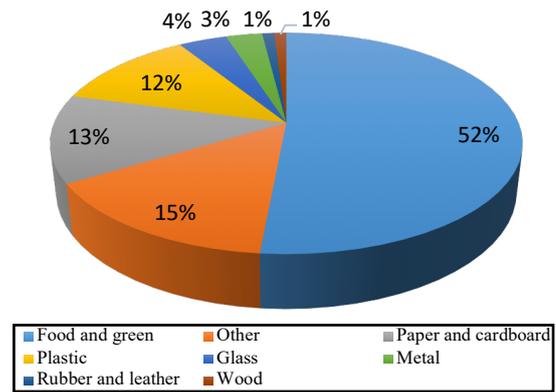
$$MW_{wco} = 3 \times \sum_i (MW_i \times \%m_i) + 38 \quad (4)$$

Where, MW_i = molecular weight of fatty acid i ; $\%m_i$ = percentage of fatty acid i in the raw material; MW_{ester} = averaged molecular weight of fatty acid ester

$$MW_{ester} = \sum_i (MW_i \times \%m_i) + 14 \quad (5)$$

Considering a conversion rate of 90%, for a time of reaction over 80min [9]. The waste cooking oil mass considered is the potential generation per person per year.

Table III shows the composition in percentage of fatty acids from waste cooking oil and biodiesel produced by it; also, as a reference, the table shows the composition that fresh cooking oil.



Waste Composition by Income Level percent. Source: [10]

FATTY ACID COMPOSITION OF WASTE COOKING OIL USED TO PRODUCE BIODIESEL

Fatty Acid Composition (% mass)	Fatty Acid	Fresh Cooking Oil	Waste Cooking Oil	Biodiesel Waste Cooking oil ¹
Oleic (C ₁₈ H ₃₄ O ₂)	C 18:1	43.9	43.2	29.0
Linoleic (C ₁₈ H ₃₂ O ₂)	C 18:2	30.4	30.1	46.9
Palmitic (C ₁₆ H ₃₂ O ₂)	C 16:0	20.3	19.4	12.9
Linolenic (C ₁₈ H ₃₀ O ₂)	C 18:3	4.8	4.7	4.6

Source: [11] [12]

¹The main fatty acids of the composition, which represents 97.7% of biodiesel, were considered.

²Experimental data [12]

It is observed that the values presented after analysis of waste cooking oil are close to the values of fresh cooking oil, which is currently a raw material of 70% of biodiesel manufactured in Brazil [13]. In this market, waste cooking oil is responsible for only 2% of production, an advance, as its modest participation started in 2012, with only 1% of representation. [13]. The Figure 2 shows the current overview of biodiesel generation by source.

c. Dual mode consumption estimate

To calculate the estimate that consumption in public transport, operating in dual fuel mode, using biogas of waste landfill and biodiesel of waste cooking oil, was used the forms adapted of [14]

$$BTE_d = BP / \dot{m}_d LHV_d \quad (6)$$

$$LFR = (\dot{m}_d - \dot{m}_{bd})/\dot{m}_d \quad (7)$$

$$BTE_{dual} = BP/(\dot{m}_{bd}LHV_{bd} + \dot{m}_{bg}LHV_{bg}) \quad (8)$$

Where BTE_d = Liquid fuel replacement (%) of diesel, \dot{m}_d = mass flow rate of diesel (kg/hr), LHV_d = lowed heating value of diesel, LFR = Liquid fuel replacement (%), \dot{m}_{bd} = mass flow rate of biodiesel (kg/hr), \dot{m}_d = mass flow rate of diesel (kg/hr), BTE_{dual} = Liquid fuel replacement (%) of dual fuel mode, LHV_{bd} = lowed heating value of biodiesel, \dot{m}_{bg} = mass flow rate of biogas (kg/hr) LHV_{bg} = lowed heating value of biogas.

Through this equation, it's possible to calculate the dual-mode biogas and biodiesel flows required to power the public transport engine, and to evaluate the potential calculated.

RESULTS AND DISCUSSION

As discussed in the methodology, the current state and the estimations related to the potential of biogas and biodiesel production were carried out for use in Volta Redonda city urban bus fleet. This analysis is crucial for replace diesel mineral to blends of biogas and biodiesel aiming to minimize greenhouse gases emissions in the transport sector. The results obtained in the study are listed below:

a. Dual fuel mode technology in engines

With the development of fuels from various renewable sources began boosting their implementations and combustion. One way to appliance resources for transportation is dual fuel mode (DFM) technology [15]–[17], both for reducing air pollution levels and as a way to replace diesel mineral, which is finite [18]. It is also frequent to use mixtures of three different combustible energy sources in ternary blends in DFM engines, as, for instance, the adoption of ternary blends of diesel-biodiesel-ethanol (DBE) in biogas-run DFM engines [19], [20].

Although the exclusive operation of biofuels in dual-mode engines does not result in economic competitiveness against pure diesel model (PDM) engines, they have benefited by generating less smoke, CO₂, CO and NO_x emissions [18], [21], [22]. Methane is a simple and stable molecule that guarantees a high self-ignition temperature and good strike resistance, allowing high compression ratios and thermal efficiency [23]. Experimental works with diesel engines converted to a or the? dual system already have significant results in their operation. Results shown include cylinder pressure, heat release rate (HRR),

ignition delay, combustion duration and, brake thermal efficiency, as well as CO, HC and NO_x emissions. In addition, gas injection time Natural retardation can improve combustion unemployment [24].

Therefore, it is important to study to magnify their mechanical potentials, adding such characteristics of environmental benefits.

b. Diesel, biodiesel and biogas

Diesel is the result of the cracking process of crude oil, that is, it originates from an exhaustible and non-renewable energy source. Because of its high energy density, it is often applied to vehicles with engines that focus predominantly on power and performance rather than speed. Its burning generates polluting gases, which cause problems as greenhouse effect, ozone depletion, acid rain, among other environmental damages [18], [21]

Biodiesel is extracted from vegetable fats like soybean, sunflower, turnip, cotton, castor, canola, as well as any other oilseed. Their production generally occurs by transesterification with methanol as catalyst using triglycerides (as the vegetable oils described above) as starting reagents [25]. Thus, it is a clean and renewable source of energy, contributing to the reduction of air pollution with improvement in the quality of life and public health [21]

It should be noted that soybean derived oils are more advantageous than other vegetable oils as fuel liquids because they are cheaper, have the infrastructure to meet the current demand of large and contain more oil in comparison to other crops [26].

Biogas is produced by the decomposition of organic matter by microorganisms by the anaerobic process. Its composition is variable and depends on the raw material from which it was formed and the digester used, but it basically consists of CH₄ (50%-75%), CO₂ (25%-50%), including smaller quantities of other gases and water vapor. Biogas can be employed in direct burning (thermal energy), besides the conversion into electricity [27], [28]. Biogas production is routine in agriculture [29], [30] and from municipal solid waste [31], [32].

c. Biodiesel x Diesel

One of the advantages of biodiesel over diesel is that it has several sources of origin and, at the same time, diesel has only one: oil. Another key point is its characterization as a renewable energy source [21], [25], [33], [34]. Biodiesel has fewer ketones than diesel, ensuring better engine combustion performance as well as benefiting lubricity, resulting in less wear, especially on the ignition system [35], [36]. It has no aromatic hydrocarbons and the sulfur content is lower than diesel

[15]. Moreover, it has lesser lower heating value (LHV), requiring less oxygen than combustion diesel [21], [34]. It has a lower risk of explosion and is easier to transport and store [36].

As disadvantages, it is noteworthy that, whereas diesel can be used alone as a fuel in automobiles, it cannot be done the same with pure biodiesel, because of it is not ideal for motor efficiency performance, therefore a better blend with diesel is more appropriate or a distinct fuel to give greater powerfulness [18], [21], [37]. Associated with this, there is the instability of biodiesel, along with the low-temperature properties. According to [26], [37] stability can be improved by the addition of substances that minimize the polymerization process of unsaturated compounds in biodiesel while low-temperature properties can be solved by additives and genetic engineering of oil plants.

Another weakness of biodiesel is the lack of economic competitiveness for its large-scale market implementation. One of the strategies that can be incorporated to lower its price, making it economically viable, is to take advantage of waste-producing by-products just as waste cooking oil, and would be eliminated [9], [26], [38], [39]. Thus, the cost is reduced and, in addition to reusing what would be part of the disposal, minimizing pollution problems [25].

d. Biogas x Diesel

One of the most advantageous points of biogas over diesel is that it is a renewable energy process, managing to generate energy from nutrients in materials that would be discarded. Consequently, biogas solves two problems at the same time by energetically harnessing waste and reducing waste production and possible problems resulting from its formation, accumulation and improper disposal [27]. Among the different organic substrates that can be harnessed are: swine manure, cattle manure, fish carcasses, urban solid waste in landfills, sewage sludge [28].

However, biogas also has disadvantages. One negative point is the predominance of inputs for their production, usually located in rural areas. In addition, the intensive collection is necessary to store the organic matter that would be discarded and will serve for its production [28].

Even though biogas has very high autoignition temperature, as well as biodiesel, it cannot completely replace diesel in compression ignition (CI) engines even though it provides a major energy share for engine operation. Biogas also brings with it other challenges such as slow production rate, corrosive substances (even containing small fractions of H₂S and water vapor), low calorific value (due to high CO₂

concentration) and the need for engine cleaning [40]. Therefore, to solve these problems, scientists have been studying how to develop technologies to remove corrosive substances from the biogas composition [41], [42]. It was noted that it is more feasible to try to improve engine performance by varying the CH₄:CO₂ ratios, because eliminate CO₂ would not be advantageous, as it requires energy, time and money [43].

e. The use of biodiesel and biogas in public transport

Urbanization not only brought the enhancement in the cars' circulation but also generated the need to increase the amount of public transportation on the streets. Thus, to generate local development and improve people's lives, countries need to develop their transport networks.

The use of renewable sources, such as biodiesel and biogas, is one of the economically and environmentally viable possibilities to promote public transportation. Consequently, many researches have been evaluating the potential of these energy sources as fuels for locomotion [43]–[50].

f. Estimation potential production of biodiesel and biogas in Volta Redonda city

Volta Redonda is a city located in South of the state of Rio de Janeiro, Brazil. In the last census held in 2010, was re-registered 257.803 habitants, with a projection of 271.998 habitants for 2018, being the majority of its population _more than 99%_ resident in urban area [51].

The average population increase in the state of Rio de Janeiro is one inhabitant every 5' 10'' [51], That is, an increase of 100,000 inhabitants throughout the state per year. Considering the demographic representativeness of Volta Redonda in the state (about 1.58%), one can consider an annual increase around 1607 habitants/year in the city.

Therefore, there are two prospects for the number of habitants, one from the last census in 2010 and from the IBGE estimate for 2018, considering the average growth rate of the state, and the other by the estimate of growth with linear behavior, as shown. table V.

Both estimates are close, and it is reasonable to consider the value of the most conservative estimate.

About the generation municipal solid waste, in the year 2018, was registered by the Infrastructure Department of the city of Volta Redonda the monthly shipments of waste to the landfill CTR Barra Mansa, according to a consortium signed with the nearby town

of Barra Mansa, a total volume that 70338.9ton, an average of 5861ton/m, with the monthly cost that 148,63 R\$/ton. This means a cost of more than 10 million annually with landfill collection and disposal. The generation *per capita* was 258,6kg/y. The table VI shows the generation of tough months, stressing the costs incurred to city.

For the year 2018, how the values used refer to the records of waste sent to the landfill, the equation (1) is not necessary, being considered in case of estimated generation and collection efficiency.

For landfill biogas generation potential calculations, only the organic portion of the waste was considered, since it presents high degradability and because it believes that selective collection and reuse of the recyclable part of the waste, such as metals, paper, plastic and glass, generating a new source of income and employment for the city.

ESTIMATIVA POPULACIONAL DA CIDADE DE VOLTA REDONDA RJ

Years	Estimate by average increase of the state of RJ	Estimated by linear growth
2010	257.803 ¹	257.803 ¹
2018	271.998 ²	271.998 ²
2020	275.212 ³	275.546
2025	283.247	284.416
2030	291.282	293.286
2035	299.318	302.156

Source: authors

¹ Censo IBGE 2010

² Estimativa disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/volta-redonda/panorama>

³ Estimativa considerando o aumento médio populacional do estado, e o percentual demográfico da cidade em relação ao estado.

WASTE SENT TO LANDFILL IN 2018 PER MONTH, IN VOLTA REDONDA AND YOURS RESPECTIVE COSTS

Month	Tons	Month	Tons
January	6878.24	July	5615.00
February	5863.88	August	5567.56
March	6311.26	September	5333.20
April	5559.90	October	5917.27
May	5760.83	November	5751.07
June	5315.03	December	6465.66
Total			70338.90

Source: authors

So, from equation (2) has, between minimum and maximum values, the methane flow produced annually in landfills [m³/y] *per capita*:

$$Q_{LCH_4} = 22,69 \text{ to } 30,26 \text{ m}^3/\text{y}$$

For representing the most used vegetable oils [13], only the soybean oil consumption was considered.

According to the Abiove website [13], the projected supply of vegetable oil from the soy complex in 2019 is about 9.0 million tons (out of production and initial stock), of which 8.1 million tons are intended for consumption. domestic. If we consider the Brazilian population for this same year, according to the IBGE [51] which will reach 210.942.005 habitants, the annual per capita consumption of soybean oil is approximately 43l/person. So, the generation of residual oil (vegetable or animal) is directly related to the consumption of edible oils and animal fat [52], that among oilseeds, soy represents over 80% in the production of oils and fats [13]. In addition, a residual oil generation of 20% can be considered among edible oils and animal fat. [52] – In this work the animal fat coming from the frying process will not be considered as a separate number, being considered within the adopted 20% margin. As such, the potential for annual waste cooking oil generation in Brazil is about 8.6l/person.

From the atomic mass of carbon (12,0107 u), oxygen (15,999 u), and hydrogen (1,00984 u) it is possible to calculate the molecular mass of the fatty acids present waste cooking oil. So, equations (4) and (5) have, respectively:

$$MW_{wco} = 868,0852$$

$$MW_{ester} = 285,5897$$

So, one can conclude the equation (3) that

$$m_{ester} = 6.806,4 \text{ g}$$

That is, each habitant of the city has the potential to generate approximately 6,806 g of biodiesel from waste cooking oil, equivalent to 7.8 l / year of this fuel.

Finally, we have an overview of the total production potential, biogas and biodiesel from waste landfill and waste cooking oil, respectively, shows in table VI. The projections made for biogas and biodiesel do not consider the projections of the increase in waste generation, as estimated by [10].

Using the equations (6), (7) and (8) have the necessary flow rates of biodiesel and diesel to power 166kW engine. The values are $\dot{m}_{bd} = 10,25 \text{ kg/hr}$ and $\dot{m}_{bg} = 129,51 \text{ kg/hr}$.

Compressão”. The financial support extended is merely acknowledged.

PRODUCTION POTENTIAL OF VOLTA REDONDA SINCE 2018 TO 2035

Year	Biogas ($10^6 \times m^3$)	Biodiesel ($10^6 \times liters$)
2018	6.17 – 8.23	2,12
2020	6.24 – 8.33	2,15
2025	6.43 – 8.57	2,21
2030	6.61 – 8.81	2,27
2035	6.79 – 9.06	2,33

Source: authors

Considering the density of biogas and biodiesel, 0,91 and 880 kg/m^3 respectively [14], an autonomy of over 9 million km is concluded, for flat areas, with an average speed of 40 km/hr .

CONCLUSIONS

In this study, we estimated the projections of the potential production of biogas and biodiesel from 2018 to 2030 for Volta Redonda City. The potential production of biogas will be from 6.17 to 9.06 million cubic meters, and the biodiesel production will be from 12.12 and 2.33 million liters. The amount of municipal solid waste and waste cooking oil should be collected efficiently to guarantee the production potential. It might be possible to replace diesel mineral with biogas and biodiesel blends for an urban bus MAN D0834 230, equipped with an internal combustion engine of 166 kW running in dual mode, attainment an autonomy over 9 million km per year with an average speed of 40km/ h. The biogas and biodiesel blends powered urban bus fleet thus offers a broad opportunity for minimization of GHG to the environment as well as better quality of life for the population. The findings we have presented will assist in the subsidies the policies of Municipal Government in Volta Redonda City for encouraging the enterprises' efforts on public transport in biofuels, adapting Volta Redonda City to federal laws in municipal waste management. Waste must stop being an expense and become a source of income, socialization, and solution to environmental problems.

ACKNOWLEDGMENT

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brazil (CAPES) - Finance Code 001 and by National Council for Scientific and Technological Development – CNPq through the Research Project 406789/2018-5, “Misturas Biogás-Biodiesel utilizadas em sistemas de injeção dual-fuel dos Motores de Combustão Interna a

REFERENCES

- [1] EPE - Empresa de Pesquisa Energética, “Matriz energética e elétrica,” 2018. [Online]. Available: <http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. [Accessed: 27-Jul-2019].
- [2] SEEG, “Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Brasil: 1970 - 2017,” 2018. [Online]. Available: <http://www.observatoriodoclima.eco.br/wp-content/uploads/2018/11/PPT-SEEG-6-LANCAMENTO-GERAL-2018.11.21-FINAL-DIST-compressed.pdf>. [Accessed: 27-Jul-2019].
- [3] A. L. C. Andrade and L. Mattei, “Consumo Energético e Emissões de CO₂: uma Análise do Setor de Transportes Brasileiro,” *Anpec*, vol. 2012, pp. 1–14, 2011.
- [4] M. M. D. E. Miranda, “Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida,” Universidade de São Paulo, 2012.
- [5] I. F. Silva dos Santos, N. D. Braz Vieira, L. G. B. de Nóbrega, R. M. Barros, and G. L. Tiago Filho, “Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in Brazil: Impact on energy generation, use, and emissions abatement,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 131, no. November 2017, pp. 54–63, 2018.
- [6] T. L. T. Zhan, X. B. Xu, Y. M. Chen, X. F. Ma, and J. W. LAn, “Dependence of Gas Collection Efficiency on Leachate Level at Wet Municipal Solid Waste Landfills and Its Improvement Methods in China,” *J. Geotech. Geoenviron- Ment. Eng.*, no. June, 2015.
- [7] The World Bank, “Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean,” vol. 019399, no. 019399, p. 236, 2004.
- [8] D. Hoornweg and P. Bhada-Tata, “What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management,” *World Bank*, 2012.
- [9] T. M. P. Anh N. Phan, “Biodiesel production from waste cooking oils,” *Egypt. J. Chem.*, vol. 55, no. 5, pp. 437–452, 2008.
- [10] S. Kaza, L. Yao, P. Bhada-Tata, and F. Van Woerden, *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, DC: The World Bank Group, 2018.
- [11] T. Maneerung, S. Kawi, Y. Dai, and C. H. Wang, “Sustainable biodiesel production via transesterification of waste cooking oil by using CaO catalysts prepared from chicken manure,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 123, pp. 487–497, 2016.
- [12] T. A. R. da Silva, “Biodiesel de Óleo Residual : Produção através da transesterificação por metanolise e etanolise básica, caracterização físico-química e otimização das condições reacionais.,” p. 133, 2011.
- [13] Abiove, “Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais,” 2019. [Online]. Available: <http://abiove.org.br/estatisticas/>.
- [14] B. J. Bora and U. K. Saha, “Experimental evaluation of a rice bran biodiesel - biogas run dual fuel diesel engine at varying compression ratios,” *Renew. Energy*, vol. 87, pp. 782–790, 2016.

- [15] Erdiwansyah, R. Mamat, M. S. M. Sani, K. Sudhakar, A. Kadarohman, and R. E. Sardjono, "An overview of Higher alcohol and biodiesel as alternative fuels in engines," *Energy Reports*, vol. 5, pp. 467–479, 2019.
- [16] A. Jamrozik, W. Tutak, M. Pyrc, M. Gruca, and M. Kočiško, "Study on co-combustion of diesel fuel with oxygenated alcohols in a compression ignition dual-fuel engine," *Fuel*, vol. 221, no. September 2017, pp. 329–345, 2018.
- [17] Z. Zheng, M. Xia, H. Liu, X. Wang, and M. Yao, "Experimental study on combustion and emissions of dual fuel RCCI mode fueled with biodiesel/n-butanol, biodiesel/2,5-dimethylfuran and biodiesel/ethanol," *Energy*, vol. 148, pp. 824–838, 2018.
- [18] A. Sarkar and U. K. Saha, "A Critique on the Research Activities and Potential Benefits of Dual-Fuel Diesel Engines Run on Biogas and Oxygenated Liquid Fuels," *J. Eng. Gas Turbines Power*, vol. 141, no. 6, p. 060801, 2019.
- [19] D. B. Hulwan and S. V. Joshi, "Performance, emission and combustion characteristic of a multicylinder DI diesel engine running on diesel-ethanol-biodiesel blends of high ethanol content," *Appl. Energy*, vol. 88, no. 12, pp. 5042–5055, 2011.
- [20] M. N. H. M. Bahrudin, A. N. Mukhtar, F. Y. Hagos, R. Mamat, A. A. Abdullah, and Z. A. A. Karim, "Comparison between tri-fuel (diesel-ethanol-biodiesel) emulsion with and without surfactant," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2059, no. January, 2019.
- [21] S. M. M. NIKOLI, Boban D., Breda KEGL, M. M. JOVANOVIĆ, and A. Ž. T. SPASIC, "EFFECT OF BIODIESEL ON DIESEL ENGINE EMISSIONS," *Therm. Sci.*, vol. 22, pp. 1483–1499, 2018.
- [22] S. H. Yoon and C. S. Lee, "Experimental investigation on the combustion and exhaust emission characteristics of biogas-biodiesel dual-fuel combustion in a CI engine," *Fuel Process. Technol.*, vol. 92, no. 5, pp. 992–1000, 2011.
- [23] F. Königsson, "Advancing the limits of dual fuel combustion," Royal Institute of Technology Stockholm, 2012.
- [24] B. Yang, C. Xi, X. Wei, K. Zeng, and M. C. Lai, "Parametric investigation of natural gas port injection and diesel pilot injection on the combustion and emissions of a turbocharged common rail dual-fuel engine at low load," *Appl. Energy*, vol. 143, pp. 130–137, 2015.
- [25] N. Kolesárová, M. Hután, I. Bodík, and V. Špalková, "Utilization of biodiesel by-products for biogas production," *J. Biomed. Biotechnol.*, vol. 2011, 2011.
- [26] G. W. Mushrush, J. M. Hughes, and H. D. Willauer, "Blends of soybean biodiesel with petroleum diesel: Advantages," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 52, no. 4, pp. 1764–1768, 2013.
- [27] P. Harris and H. Oechsner, "Biogas," *Sustain. Energy Solut. Agric.*, vol. 10, pp. 335–354, 2014.
- [28] M. Guo, W. Song, and J. Buhain, "Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 42, pp. 712–725, 2015.
- [29] J. Kára, Z. Pastorek, J. Mazancová, and I. Hanzlíková, "New mixtures and technologies for biogas production at biogas plants of agricultural type processing livestock slurry," *Res. Agric. Eng.*, vol. 55, no. 2, pp. 62–68, 2009.
- [30] C. Ingrao, J. Bacenetti, J. Adamczyk, V. Ferrante, A. Messineo, and D. Huisingsh, "Investigating energy and environmental issues of agro-biogas derived energy systems: A comprehensive review of Life Cycle Assessments," *Renew. Energy*, vol. 136, pp. 296–307, 2019.
- [31] S. Panigrahi and B. K. Dubey, "A critical review on operating parameters and strategies to improve the biogas yield from anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste," *Renew. Energy*, vol. 143, pp. 779–797, 2019.
- [32] S. S. Hla and D. Roberts, "Characterisation of chemical composition and energy content of green waste and municipal solid waste from Greater Brisbane, Australia," *Waste Manag.*, vol. 41, pp. 12–19, 2015.
- [33] S. H. Park, J. Cha, and C. S. Lee, "Impact of biodiesel in bioethanol blended diesel on the engine performance and emissions characteristics in compression ignition engine," *Appl. Energy*, vol. 99, pp. 334–343, 2012.
- [34] D. Özçimen, "An Approach to the Characterization of Biochar and Bio-Oil," in *Renewable energy for sustainable future*, Ic. Press, Ed. 2013, pp. 41–58.
- [35] P. Geng, E. Cao, Q. Tan, and L. Wei, "Effects of alternative fuels on the combustion characteristics and emission products from diesel engines: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 71, no. December 2016, pp. 523–534, 2017.
- [36] C. W. Mohd Noor, M. M. Noor, and R. Mamat, "Biodiesel as alternative fuel for marine diesel engine applications: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 94, no. June, pp. 127–142, 2018.
- [37] J. Kann, H. Rang, and J. Kriis, "Advances in biodiesel fuel research," *Fuel Energy Abstr.*, vol. 44, no. 4, p. 239, 2003.
- [38] J. L. Stephen and B. Periyasamy, "Innovative developments in biofuels production from organic waste materials: A review," *Fuel*, vol. 214, no. November 2017, pp. 623–633, 2018.
- [39] Sahar *et al.*, "Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 41, no. December 2017, pp. 220–226, 2018.
- [40] S. Verma, L. M. Das, and S. C. Kaushik, "Effects of varying composition of biogas on performance and emission characteristics of compression ignition engine using exergy analysis," *Energy Convers. Manag.*, vol. 138, pp. 346–359, 2017.
- [41] W. Yuan and T. J. Bandoz, "Removal of hydrogen sulfide from biogas on sludge-derived adsorbents," *Fuel*, vol. 86, no. 17–18, pp. 2736–2746, 2007.
- [42] S. S. Kapdi, V. K. Vijay, S. K. Rajesh, and R. Prasad, "Biogas scrubbing, compression and storage: Perspective and prospectus in Indian context," *Renew. Energy*, vol. 30, no. 8, pp. 1195–1202, 2005.
- [43] A. Henham and M. . Makkar, "Combustion of simulated biogas in a dual-fuel diesel engine," *Energy Convers. Manag.*, vol. 39, no. 16–18, pp. 2001–2009, 2002.
- [44] C. Ibeto and C. Ugwu, "Exhaust Emissions from Engines Fuelled with Petrol, Diesel and their Blends with Biodiesel Produced from Waste Cooking Oil," *Polish J. Environ. Stud.*, vol. 28, no. 5, pp. 3197–3206, 2019.
- [45] S. G. M. OGUMA, Y. J. LEE, "An Overview of Biodiesel in Asian Countries and the Harmonization of Quality Standards," *Int. J. Automot. Technol.*, vol. 19, no. 2, pp. 33–41, 2012.

- [46] S. K. Chauhan, S. Gangopadhyay, and N. Singh, "Environmental aspects of biofuels in road transportation," *Environ. Chem. Lett.*, vol. 7, no. 4, pp. 289–299, 2008.
- [47] A. K. Azad, M. G. Rasul, M. M. K. Khan, S. C. Sharma, and M. A. Hazrat, "Prospect of biofuels as an alternative transport fuel in Australia," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 43, pp. 331–351, 2015.
- [48] C. R. Coronado, J. A. de Carvalho, and J. L. Silveira, "Biodiesel CO₂ emissions: A comparison with the main fuels in the Brazilian market," *Fuel Process. Technol.*, vol. 90, no. 2, pp. 204–211, 2009.
- [49] V. Graciano, J. V. C. Vargas, and J. C. Ordonez, "Modeling and simulation of diesel, biodiesel and biogas mixtures driven compression ignition internal combustion engines," *Int. J. energy Res.*, vol. 31, no. August 2007, pp. 135–147, 2009.
- [50] P. M. Duc and W. Kanit, "Study on biogas premixed charge diesel dual fuelled engine," *Energy Convers. Manag.*, vol. 48, no. 8, pp. 2286–2308, 2007.
- [51] IBGE, "Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística," 2019. [Online]. Available: <https://www.ibge.gov.br>.
- [52] W. Chen, F. Wu, and J. Zhang, "Potential production of non-food biofuels in China," *Renew. Energy*, vol. 85, pp. 939–944, 2016.

Avaliação de fluxos de CO₂ do solo de um sistema agroflorestal do Nordeste de Portugal

Lucilélia Reis, Maria Patrício, Samuel Diegues, Giovanna Poggere, Manuel Feliciano

(1) Lucilélia Barbosa Reis
Instituto Politécnico de
Bragança Bragança,
Portugal
lubreis@gmail.com

(2) Maria do Sameiro Patrício
Centro de Investigação de
Montanha (CIMO), Instituto
Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
sampat@ipb.pt

(3) Samuel Diegues

Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
samucas04@hotmail.com

(4) Giovana Poggere
Universidade Tecnológica
Federal do Paraná, Campus de
Medianeira, Brasil
gcpoggere@utfpr.edu.br

(5) Manuel Feliciano
Centro de Investigação de Montanha (CIMO),
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
msabenca@ipb.pt

Resumo— No âmbito das alterações climáticas, mitigar as emissões de dióxido de carbono (CO₂) é de fundamental importância para conter uma gama de fenómenos que vêm perturbando o equilíbrio natural do planeta Terra nas últimas décadas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os fluxos de CO₂ do solo num sistema agroflorestal do Norte de Portugal, utilizando o método da caixa em diferentes condições de gestão do solo, nomeadamente com solo nu (efeito mobilização) e solo ervado (efeito não mobilização), em função de variáveis meteorológicas e edafoclimáticas. Neste contexto, foram avaliadas a variação temporal e espacial dos fluxos de CO₂ de uma plantação de castanheiros em sistema agroflorestal para produção de castanha, estudando os fatores que influenciam e ou interferem no processo de trocas de carbono entre o solo e a atmosfera, em inter-relação com a gestão praticada. O Estudo abrangiu duas áreas distintas, uma não mobilizada com subcoberto vegetal permanente e uma outra área, contígua, cujo controlo da vegetação é efetuado por ação de mobilização frequentes (manutenção de solo nu). O procedimento experimental consistiu em selecionar 10 pontos de amostragem, 6 na área não mobilizada (Área A) e 4 na área mobilizada (Área B), e efetuar medições em triplicado, em cada ponto, em três momentos distintos do dia, entre março e junho de 2019. Os Fluxos de CO₂ do solo foram obtidos através de um sistema portátil CO₂, o LI-8100A, que integra uma unidade de controlo e análise de CO₂ e vapor de água acoplado a uma câmara transparente. A humidade, a temperatura do solo e a radiação fotossinteticamente ativa foram também medidas em simultâneo, através de uma Sonda de

humidade 8100-202, de um Termístor 8100-203 e de um Sensor Quântico LI-190R. Os principais resultados apontam para um valor médio do Fluxo de CO₂ de -1,86 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para a área A e 1,93 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para a área B, durante o mesmo período de tempo. Conclui-se que durante o período de avaliação, a área A (cobertura permanente do solo) foi um sumidouro de carbono, enquanto a área B (solo nu) atuou como fonte emissora de carbono do solo.

Palavras chave— carbono, variação temporal, variação espacial, alterações climáticas.

INTRODUÇÃO

As emissões excessivas dos gases de efeito de estufa (GEE) da superfície para a atmosfera interferem nas alterações climáticas globais. Estes gases de efeito estufa têm a particularidade de absorver uma parte da energia solar que é reemitida na forma de energia de elevado comprimento de onda para a atmosfera, após atingir a superfície terrestre. Esta interação energética foi durante muitos anos responsável pela manutenção de uma temperatura adequada para a existência de vida no planeta Terra. Porém, nos últimos anos, temos assistido a uma agudização deste fenómeno, traduzido no aumento da temperatura média global, que está a causar desequilíbrios significativos a nível planetário. O dióxido de carbono (CO₂), o óxido nitroso (N₂O) e o metano (CH₄) são alguns dos principais gases que contribuem de forma indelével para o efeito estufa [1].

De entre esses gases, o CO₂ tem aumentado significativamente e de forma muito acelerada a sua

contribuição para esse processo. Segundo registos dos últimos 800 anos não se relatavam emissões tão elevadas de dióxido de carbono advindas das atividades humanas como as que ocorreram entre os anos de 2000 a 2010 [2]. O aumento da concentração dos GEE, em particular do CO₂, está relacionado principalmente com a queima de combustíveis fósseis, indústrias, transportes e modificações no uso e cobertura do solo, especialmente na agricultura [3].

De acordo com [4], os usos intensivos do solo têm contribuído igualmente para o aumento da libertação de CO₂ armazenado sob a forma de matéria orgânica nos solos, e, conseqüentemente, para diminuir a disponibilidade de carbono orgânico das reservas terrestres. Sendo assim, o recurso a práticas agronómicas mais conservativas da matéria orgânica, consideradas ambientalmente mais adequadas para permitir elevar o potencial de sequestro e armazenamento de carbono por parte dos solos, é absolutamente necessário. Em geral, estima-se que o carbono orgânico nas reservas dos solos corresponda a duas vezes mais do que toda a biomassa vegetal existente no planeta, sendo considerado de suma importância no ciclo do carbono [5]. Contudo, as práticas culturais podem contribuir para uma maior ou menor conservação da matéria orgânica no solo e conseqüente maior ou menor libertação de gases de efeito de estufa para a atmosfera.

E como bem nos assegura [6], os ecossistemas florestais são capazes de minimizar o aquecimento global, devido à elevada taxa de sequestro de carbono, sendo capazes de atenuar as emissões dos gases de efeito estufa como o metano e o dióxido de carbono. Assim como as florestas, os sistemas agroflorestais são suscetíveis de desempenhar um papel de sumidouro de dióxido de carbono, devido às suas práticas mais adequadas de gestão do solo [7]. Em Portugal, por exemplo, cerca de mais de um terço do território é coberto por sistemas florestais e agroflorestais [8].

A avaliação da influência das diferentes práticas de gestão na transferência líquida de CO₂ dos ecossistemas (*Net Ecosystem (CO₂) Exchange, NEE*) é de importância crítica para as decisões políticas no âmbito das alterações climáticas e do setor agrícola [9]. A NEE, também designada por produção líquida dos ecossistemas, corresponde à quantidade de carbono que é colocado na atmosfera em comparação com a quantidade que é removida, ou seja, uma NEE positiva indica que o ecossistema atua como uma fonte de CO₂, enquanto uma NEE negativa indica que é um sumidouro de CO₂ [10]. Neste contexto, estudos capazes de quantificar os fluxos de CO₂, por diferentes abordagens metodológicas, têm sido e continuarão a ser imprescindíveis [11].

O presente trabalho teve por objetivo avaliar os fluxos de CO₂ do solo num sistema agroflorestal do Norte de Portugal, utilizando o método da caixa, em diferentes condições de gestão do solo, nomeadamente com solo nu (efeito mobilização) e solo ervado com subcoberto permanente (efeito não mobilização). A relação da cobertura vegetal/mobilização do solo com variáveis meteorológicas e edafoclimáticas que influenciam a dinâmica do carbono no solo, permitirá definir técnicas de manejo mais amigas do ambiente. Além disso, procura-se determinar a variação temporal e espacial em função de fatores influenciadores como a radiação fotossintética ativa, a temperatura e a humidade do solo, com as práticas de gestão agroflorestal utilizadas na área de estudo.

2. METODOLOGIA

a. Localização e características da área de estudo

2. O presente estudo foi realizado num sistema agroflorestal situado na freguesia de Parada, na região de Trás-os-Montes, Nordeste de Portugal. A área fica situada a 740 m de altitude e localiza-se nas coordenadas geográficas 41°38'12.53"N; 6°42'42.94"W (Fig.1) com exposição S-SE. De acordo com a classificação de Köppen- Geiger [12] o clima da região é Csb, mediterrâneo com verões quentes. A precipitação média anual é de aproximadamente 821mm, correspondendo à distribuição típica mediterrânica sazonal, com verões secos, e com chuvas concentradas no outono e inverno. A temperatura média anual é de 11,6° C [13]. O solo é do tipo leptossolo de xisto de baixa espessura e elevada pedregosidade e relativamente pobre em matéria orgânica.

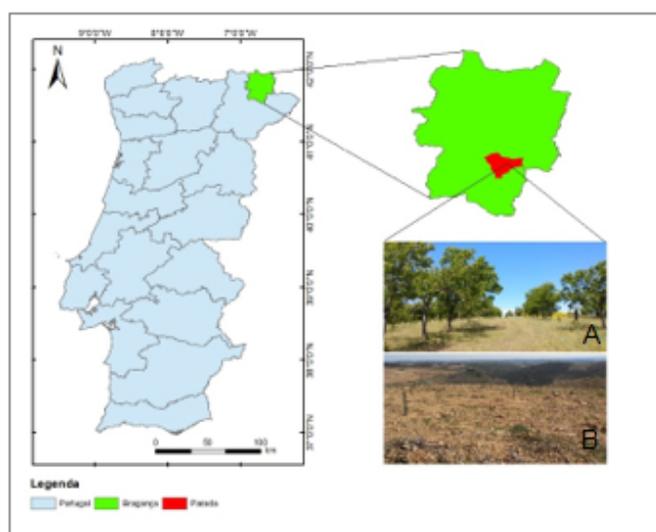


Fig. 1. Localização e características gerais da área de estudo A e B.

b. Material e métodos

No âmbito do projeto GO_ClimCast, financiado pelo PDR2020 e cofinanciado pelo FEADER, no âmbito do Portugal 2020, instalou-se uma área de castanheiro em sistema agroflorestal com aproximadamente 0,5 ha (souto demonstração), em abril de 2018. Esta plantação cujo controlo da vegetação é efetuado por ação de mobilizações frequentes (manutenção de solo nu), serviu de base ao presente estudo juntamente com uma outra área de castanheiro adulto, contígua, não mobilizada com subcoberto vegetal permanente. Assim, foram selecionadas duas áreas distintas entre si em relação a prática de gestão e cobertura do solo, designadas a partir de agora por área A e área B, e que juntas equivalem a 1,5 ha. A área A apresenta o solo não mobilizado, erva e com plantação de castanheiros adultos com cerca de 25 anos. A área B (plantação nova) apresenta o solo exposto, devido às mobilizações frequente para controlo da vegetação. O delineamento experimental consistiu em 10 pontos de amostragem, 6 na área A e 4 na área B. Na área A, três colares foram localizados debaixo da copa dos castanheiros adultos (A1, A2 e A3) e três entre as suas copas (A4, A5, A6), ficando estes mais expostos à radiação. Em cada um dos pontos foram fixados colares de PVC com 21 cm de diâmetro por 11,5 cm de altura. Os colares foram colocados umas semanas antes do início das medições, com o objetivo de diminuir as perturbações no solo e na vegetação no seu entorno e causar eventuais alterações na emissão/absorção de CO₂.

As medições ocorreram em triplicado, em cada ponto, em três momentos distintos do dia (no período das 8:00 às 18:00 horas), entre março e julho de 2019 (neste artigo não foram integrados os dados de julho). Os Fluxos de CO₂ (F_{CO2}) foram obtidos com recurso a um sistema portátil da marca LI-COR Biosciences (LI-8100A), que integra uma unidade de controlo e análise de CO₂ e vapor de água acoplado a uma câmara transparente. A Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR), a Temperatura (T_{solo}) e a Humidade do Solo (H_{solo}) foram medidas em paralelo, fazendo uso de um Sensor Quântico LI-190R, da Sonda Termistor 8100-203 e Sonda de humidade 8100-202, repetivamente.

c. Processamento de dados

Os dados recolhidos foram processados pelo software SoilFluxPro e tratados estatisticamente, envolvendo o cálculo de parâmetros de estatística descritiva (e.g média, mediana, máximo, mínimo, erro padrão) das variáveis F_{CO2} (μmol m⁻² s⁻¹), PAR (μmol s⁻¹ m⁻²), T_{solo} (°C) e H_{solo} (%). Além disso, as diferenças das médias para as variáveis referidas anteriormente, entre áreas, entre pontos de amostragem e entre momentos distintos para cada uma das áreas, foram avaliadas através de uma ANOVA e o teste de Tukey, após verificação dos

respectivos pressupostos estatísticos (i.e. a normalidade dos resíduos e homogeneidade da variância). A análise estatística foi efectuada com recurso aos softwares Excel 2010 e Origin 8.5. Finalmente, construiu-se uma matriz de correlação de Pearson e de p-valores para avaliar a interdependência entre variáveis.

RESULTADOS

a. Variação Espacial dos Fluxos de CO₂ e de Outras Variáveis Ambientais

Numa primeira análise, procurou-se avaliar as diferenças globais entre as áreas A e B, em termos de PAR (μmol s⁻¹ m⁻²), T_{solo} (°C) e H_{solo} (%) e F_{CO2} (μmol m⁻² s⁻¹), cujos principais parâmetros estatísticos se encontram apresentados na Tabela I.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS PARA AS VARIÁVEIS EM ANÁLISE REGISTRADAS PARA A ÁREA A E B, NO PERÍODO DE MARÇO A JUNHO, EM PARADA, BRAGANÇA, PORTUGAL.

	Área A			
	PAR (μmol s ⁻¹ m ⁻²)	T _{solo} (°C)	H _{solo} (%)	F _{CO2} (μmol m ⁻² s ⁻¹)
Média	960,5 b	20,2 b	13,75 a	-1,86 b
Mediana	1112,8	18,3	11,50	-1,96
Erro.Padrão	37,6	0,4	0,45	0,32
Variância	406847,7	45,8	59,30	28,60
Máximo	2091,07	44,42	34,5	16,8
Mínimo	1,02	11,28	1,4	-19,08
	Área B			
Média	1307,8 a	23,9 a	10,75 b	1,93 a
Mediana	1514,1	21,2	9,20	1,84
Erro.Padrão	42	0,66	0,47	0,06
Variância	338765,1	83,6	41,9	0,73
Máximo	2091,07	44,04	31	4,2
Mínimo	58,53	7,07	1,3	0,35

Obs. Letras diferentes por coluna entre as áreas A e B indicam diferenças significativa p<0,05 pelo teste de Tukey.

Em termos gerais, constata-se que todas as variáveis analisadas diferem significativamente entre a área A e a área B, para o período de avaliação, que abrangeu o período diurno entre março e junho de 2019. A PAR foi superior na área B, por não apresentar uma barreira física aérea capaz de bloquear a luz solar, tendo-se registado um valor médio global de aproximadamente 1300 (μmol s⁻¹ m⁻²). Na área A, a PAR média foi inferior a 1000 (μmol s⁻¹ m⁻²), devido ao efeito sombra do copado.

A T_{solo} apresentou o mesmo comportamento, sendo globalmente superior na área B (solo nu) em comparação com o registado na área A (solo erva). Na área B, a T_{solo} média global foi de aproximadamente 24 °C, variando entre uma mínima de 7°C e uma máxima de 44 °C. Na área A, a T_{solo} média global foi de 20 °C, oscilando entre

uma mínima de cerca de 11 °C e uma temperatura máxima de aproximadamente 44°C.

Relativamente à H_{solo} da camada superficial (até \cong 8 cm de profundidade), a magnitude dos valores foi baixa para ambas as áreas, devido ao facto de ter havido pouca precipitação no local, entre 1 de março e 30 junho de 2019 (213 mm, de acordo com registos meteorológicos locais). Apesar dos baixos valores, registaram-se diferenças significativas entre a área A e a área B, com valores médios de 13,75% e 10,75%, respetivamente. A amplitude registada em ambas as áreas foi, no entanto, bastante similar, tendo variado entre mínimos de 1,3% e máximos de 34,5%.

Por fim, relativamente aos fluxos de CO_2 , a área A (ervada) apresentou-se como sumidouro de CO_2 , com um fluxo médio de $-1,86 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e a área B como emissora de carbono com um fluxo médio de $1,93 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Estas diferenças resultam do facto de a área A apresentar, durante o período de avaliação, vegetação ativa do ponto de vista fisiológico, contribuindo, através do processo de fotossíntese, para fixar CO_2 em quantidades superiores às libertadas pelos processos de respiração autotrófica (respiração das raízes das plantas do solo), e de respiração heterotrófica resultante da atividade microbiana.

Quando estendemos a análise da variabilidade espacial a cada uma das áreas (variabilidade intra-áreas) (Fig. 2 e 3), constatamos igualmente que há diferenças significativas, entre alguns pontos de amostragem, para todas as variáveis analisadas anteriormente, em particular na área A. Na área B, as diferenças espaciais também foram uma realidade, mas apenas foram significativas para a variável F_{CO_2} , onde os pontos B2 e B3 apresentaram emissões de CO_2 mais elevadas do que os pontos B1 e B4.

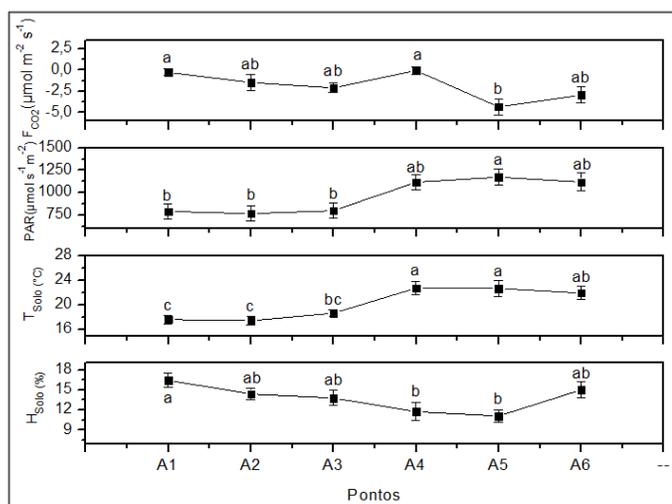


Fig. 2. Variação espacial dos F_{CO_2} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), PAR ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$), T_{solo} ($^{\circ}\text{C}$) e da H_{solo} (%) entre os pontos da área A. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre pontos de amostragem avaliadas pelo teste de Tukey, para $p < 0,05$.

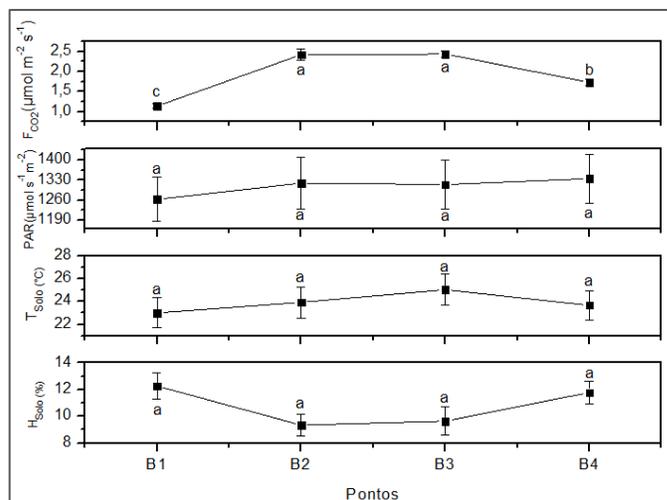


Fig. 3. Variação espacial dos F_{CO_2} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), PAR ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$), T_{solo} ($^{\circ}\text{C}$) e da H_{solo} (%) entre os pontos da área A e B. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre pontos de amostragem avaliadas pelo teste de Tukey, para $p < 0,05$.

As diferenças encontradas em ambas as áreas resultam de uma interação complexa de vários processos e de vários fatores ambientais. Todavia, enquanto na área A, o índice de área foliar, o estado fisiológico da vegetação do subcoberto e as variáveis ambientais com influência nas taxas fotossintéticas (e.g. PAR, T_{solo}) surgem aparentemente como as mais determinantes da variabilidade espacial encontrada para a NEE, na área B, a falta de homogeneidade espacial dos F_{CO_2} é explicada pela variabilidade espacial natural dos parâmetros físicos (T_{solo}), químicos (e.g. H_{solo} , matéria orgânica, pH) e biológicos (e.g. microorganismos) do solo com influência na respiração heterotrófica.

b. Variação Temporal dos Fluxos de CO_2 e de Outras Variáveis Ambientais

A análise da evolução temporal das variáveis F_{CO_2} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), PAR ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$), T_{solo} ($^{\circ}\text{C}$) e H_{solo} (%) apresentada na fig. 4, para a área A, e na Fig. 5, para a área B, registada de forma descontínua entre março e junho, ajuda-nos a compreender um pouco melhor a interação entre os vários fatores ambientais estudados e a dinâmica da transferência líquida de CO_2 , ao longo de um período de quatro meses, em condições de temperaturas moderadas e conteúdo baixo de água no solo.

Atentando na Fig. 4, é possível observar que a área A sequestrou carbono da atmosfera no período de observação, entre março e maio, com valores de NEE máximos de $-5,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Em junho, o solo coberto com vegetação converteu-se numa fonte de CO_2 com um valor de NEE de $5,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

A variação temporal da NEE exibida na área A reflete a evolução das diferentes etapas de crescimento da

vegetação, desde o período inicial da fase vegetativa e de crescimento até ao período de aparecimento de sinais claros de senescência da vegetação existente no local, como demonstram os valores positivos de NEE medidos em junho. Embora não fosse crível que as taxas de fotossíntese estivessem totalmente reduzidas a zero, é evidente que as taxas de respiração as superaram largamente, em resultado da decomposição de carbono orgânico e da atividade biológica das raízes das plantas [14].

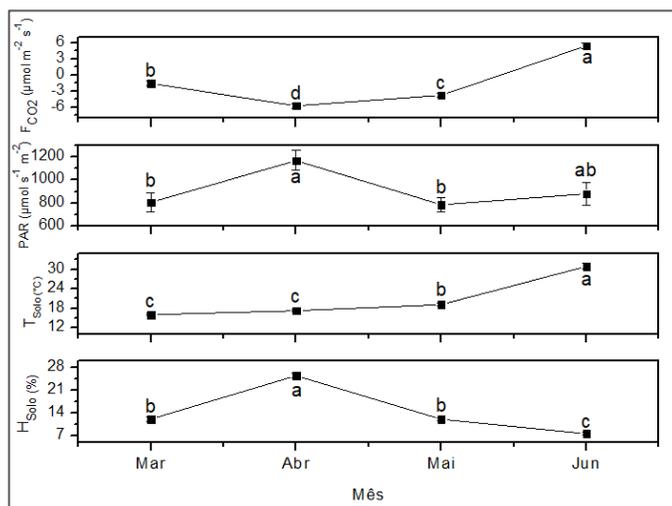


Fig. 4. Comparação das médias globais dos F_{CO_2} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), PAR ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$), T_{solo} ($^{\circ}\text{C}$) e da H_{solo} (%) para a área A ao longo do tempo. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre amostragens efetuadas ao longo do tempo, para os parâmetros em análise, avaliadas pelo teste de Tukey, para $p < 0.05$.

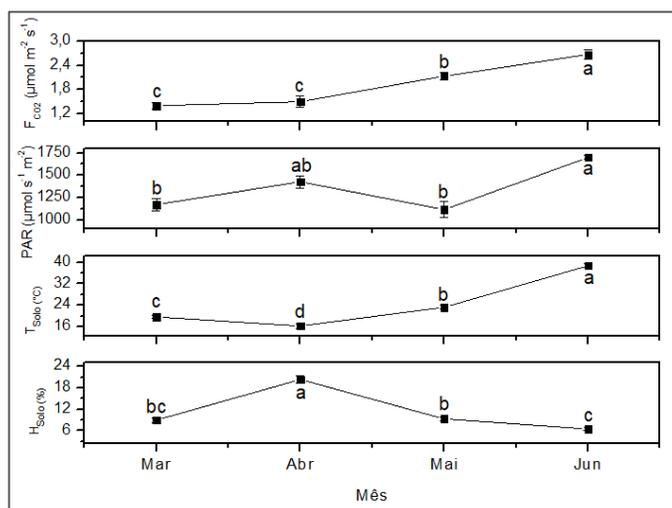


Fig. 5. Comparação das médias globais dos F_{CO_2} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), PAR ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$), T_{solo} ($^{\circ}\text{C}$) e da H_{solo} (%) para a área B ao longo do tempo. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre amostragens efetuadas ao longo do tempo, para os parâmetros em análise, avaliadas pelo teste de Tukey, para $p < 0.05$.

Contrariamente ao observado para a área A, a área B apresentou-se como uma fonte emissora de CO_2 ao longo de todo o período de avaliação, dado que foi mantida sem vegetação. O valor mais elevado de fluxo de CO_2 foi

registado em junho com magnitude de $2,67 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e o menor, foi observado em março, sendo de aproximadamente $1,40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A magnitude dos efluxos de CO_2 (transferência de CO_2 do solo para a atmosfera) medidos na área B correspondem a menos de metade das taxas líquidas de emissão de CO_2 ocorridas em junho na área A. Os maiores fluxos de emissão de CO_2 do solo com vegetação (área A) eram esperados, devido às diferenças das propriedades do solo, densidade de raízes e atividade microbiana promovida pelas plantas vasculares [15].

Em relação às outras variáveis, a T_{solo} e a H_{solo} , apesar de se distinguirem em termos de magnitude em ambas as áreas, como referido anteriormente, exibiram comportamentos temporais bastante similares nas duas áreas. Verifica-se também que as temperaturas mais elevadas ocorreram para humidades do solo mais baixas e vice-versa. Em termos de PAR, o perfil temporal difere entre áreas, sendo que na área A os mais elevados foram registados em abril, com uma magnitude de $1420 (\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2})$ e os valores mais baixos de $785 (\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2})$, registados em maio. Na área B, observaram-se valores médios mais elevados de $1699 (\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2})$, no mês de junho, e valores médios mais baixos de $1144 (\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2})$, no mês de maio.

c. Relação entre Fluxos de CO_2 e Variáveis Ambientais

Para analisar com mais rigor a relação de dependência existente entre o F_{CO_2} e as variáveis PAR, T_{solo} e H_{solo} , foi efetuada uma matriz de correlação de Pearson (Tabela II).

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS PARA AS VARIÁVEIS EM ANÁLISE REGISTADAS PARA A ÁREA A E B, NO PERÍODO DE MARÇO A JUNHO, EM PARADA, BRAGANÇA, PORTUGAL.

	Área A			
	F_{CO_2} $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	PAR $(\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2})$	T_{solo} $(^{\circ}\text{C})$	H_{solo} (%)
F_{CO_2}	1	-0,38 s	0,36 s	-0,44 s
PAR		1	0,34 s	0,21 s
T_{solo}			1	-0,44 s
H_{solo}				1
	Área B			
	F_{CO_2}	PAR	T_{solo}	H_{solo}
F_{CO_2}	1	0,13 ns	0,51 s	-0,36 s
PAR		1	0,57 s	-0,17 ns
T_{solo}			1	-0,56 s
H_{solo}				1

ns: não significativo ($p > 0,001$); s: significativo ($p < 0,001$)

De acordo com os principais resultados, o grau de dependência linear entre F_{CO_2} e as restantes variáveis ambientais foi baixo, mas com um nível de significância

elevado para $p < 0,001$, com exceção da PAR e H_{solo} no solo nu, devido à ausência de vegetação.

Como já fora referido anteriormente, a interação complexa entre estes fatores e os fluxos de CO_2 dificulta a análise dos valores de correlação obtidos. Além disso, muitos autores mencionam as dificuldades que existem em investigar a influência isolada de qualquer parâmetro edafoclimático, a partir das medições de campo, por apresentarem interdependência entre si [16].

Todavia, com base numa leitura direta e simplista dos coeficientes de correlação, pode afirmar-se que: 1) o aumento da PAR contribuiu para o aumento das taxas fotossintéticas e, conseqüentemente, para o aumento da absorção líquida de CO_2 pelas plantas (valores mais negativos de NEE); 2) o aumento da T_{solo} aparece associado a uma redução da absorção líquida de CO_2 , justificável pelo efeito positivo que a T_{solo} tem nos efluxos de CO_2 , desde que outros fatores não sejam limitantes; 3) o aumento da H_{solo} conduziu ao aumento da absorção líquida de CO_2 (área A), muito provavelmente por contribuir para a diminuição do stress hídrico da vegetação e, conseqüentemente, aumentar as trocas gasosas entre as plantas e a atmosfera; 4) as maiores emissões de CO_2 do solo (sem vegetação) estiveram associadas aos valores mais elevados de T_{solo} e aos mais baixos de H_{solo} .

De um modo geral, sabe-se que a produção de CO_2 em solos não calcários surge quase inteiramente da respiração autotrófica (respiração da raiz) e heterotrófica (decomposição microbiana da matéria orgânica do solo). Como todos os produtos de reações químicas e bioquímicas, estes processos do solo são igualmente dependentes da temperatura [17] e do conteúdo de água do solo [18] e [19]. Todavia, enquanto os efeitos da temperatura do solo na respiração heterotrófica são principalmente diretos e implicam uma correlação positiva entre a temperatura e as emissões de CO_2 , desde que outros fatores não sejam limitantes [20] e [21], o efeito da humidade do solo é bem mais complexo, uma vez que a água do solo influencia a taxa de fornecimento de O_2 e, portanto, determina se são os processos aeróbios ou anaeróbios que prevalecem no solo [22] e [23]. O conteúdo de água do solo também é importante para o suprimento de substrato para microorganismos do solo [21].

Apesar de haver alguma conflitualidade relativamente à influência da H_{solo} nos F_{CO_2} , as maiores emissões de CO_2 têm sido reportadas para um teor intermédio de humidade, enquanto condições secas e húmidas conduzem a uma redução das emissões de CO_2 [24] e [19]. No entanto, se a humidade do solo se torna limitante, os fluxos de CO_2 são suprimidos independentemente das elevadas temperaturas do solo [25] e [26].

O fluxo de CO_2 do solo é frequentemente relacionado positivamente com variáveis como humidade, a temperatura, matéria orgânica do solo (MOS) e atividade microbiana [27], [28] e [29].

CONCLUSÃO

O estudo apresentado é parte de uma investigação que ainda está em desenvolvimento, mas já permitiu obter um conjunto de dados que podem ser muito relevantes para o setor florestal e agroflorestal, num país onde o tipo de informação recolhida é bastante lacunar.

Do ponto de vista de gestão do carbono do solo, constatou-se que as práticas de gestão exercem uma influência significativa na produção líquida dos ecossistemas. Os solos mobilizados comportam-se como fontes importantes de carbono inorgânico, enquanto os solos não mobilizados, com coberto vegetal, comportam-se como sumidouros durante o período de crescimento vegetativo e como emissores no período em que a vegetação fica fisiologicamente inativa.

Os resultados mostraram ainda que existe uma variabilidade significativa nos fluxos de CO_2 entre os pontos de amostragem dentro da mesma área de análise. Esta variação pode ser devida à heterogeneidade do solo, nomeadamente o teor de matéria orgânica e a relação C/N que interfere com a atividade microbiana. Estes parâmetros serão avaliados posteriormente em estudos complementares na mesma área.

As variáveis edafoclimáticas observadas *in situ* exercem uma importante influência na magnitude dos fluxos de CO_2 . Assim, de acordo com a análise global feita nas duas áreas, verificamos que a presença da vegetação altera a dinâmica do carbono, pelo que a manutenção de um coberto vegetal permanente no subcoberto dos soutos constitui uma prática ambientalmente mais sustentável.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi suportado, em parte, pelo projeto GO ClimCast financiado pelo FEADER e pelo Estado Português, no âmbito da Ação 1.1 “Grupos Operacionais” integrado na Medida 1. Inovação do PDR 2020. Os autores agradecem ainda à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT, Portugal) e FEDER ao abrigo do Programa PT2020 pelo apoio financeiro ao CIMO [UID / AGR / 00690/2019].

REFERÊNCIAS

- IPCC. (2014). Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>. (2013). CLIMATE CHANGE 2013.

- IPCC. (2014). *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>. (2013). *CLIMATE CHANGE 2013*.
- Jalota, S. K., Vashisht, B. B., Sharma, S., & Kaur, S. (2018). Emission of Greenhouse Gases and Their Warming Effect. *Understanding Climate Change Impacts on Crop Productivity and Water Balance*, 1–53. doi:10.1016/b978-0-12-809520-1.00001-x
- Barbera, A. C. (2018). *Greenhouse Gases Formation and Emission. Encyclopedia of Ecology, 2nd Edition (2.^a ed.)*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10895-4>
- Nair, P. K. R., Gordon, A. M., & Rosa Mosquera-Losada, M. (2008). *Agroforestry. Encyclopedia of Ecology, 101–110*. doi:10.1016/b978-008045405-4.00038-0
- Martins, C. S. C., Nazaries, L., Macdonald, C. A., Anderson, I. C., e Singh, B. K. (2015). Soil Biology & Biochemistry Water availability and abundance of microbial groups are key determinants of greenhouse gas fluxes in a dryland forest ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry, 86*, 5–16. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.03.012>
- Chatterjee, N., Nair, P. K. R., Chakraborty, S., e Nair, V. D. (2018). Agriculture, Ecosystems and Environment Changes in soil carbon stocks across the Forest-Agroforest-Agriculture / Pasture continuum in various agroecological regions: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 266*, 55–67. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.014>
- Ferreira, S., Monteiro, E., Brito, P., & Vilarinho, C. (2017). *Biomass resources in Portugal: Current status and prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78*, 1221–1235. doi:10.1016/j.rser.2017.03.140
- Vicente-vicente, J. L., García-ruiz, R., Francaviglia, R., Aguilera, E., e Smith, P. (2016). Agriculture, Ecosystems and Environment Soil carbon sequestration rates under Mediterranean woody crops using recommended management practices: A meta-analysis. *«Agriculture, Ecosystems and Environment»*, 235, 204–214. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.024>
- K Phillips, C. L., & Nickerson, N. (2015). *Soil Respiration. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. doi:10.1016/b978-0-12-409548-9.09442-2
- Anapalli, S. S., Fisher, D. K., Reddy, K. N., Krutz, J. L., Pinnamaneni, S. R., e Sui, R. (2019). Science of the Total Environment Quantifying water and CO₂ fluxes and water use efficiency across irrigated C3 and C4 crops in a humid climate, 663, 338–350. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.471>.
- Köppen, W. (1936). *Das geographische System der Klimate. Handbuch der Klimatologie, v.1, Part C (W. Köppen & R. Geiger, eds.)*. Gerbrüder Bornträger, Berlin, pp. 1-44.
- IPMA. Normais Climatológicas - 1981-2010 (provisórias) - Bragança. Disponível em: <<http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/003/>>. Acessado em: 20 de Junho de 2019.
- Yiqi, L.; Zhou, X. Soil respiration and the environment. [S.l.]: Academic press, 2010.
- Jiang YL, Zhou GS, Zhao M et al.. Soil respiration in broad-leaved and Korean Pine forest ecosystems, Changbai Mountain, China. *Acta Phytocologica Sinica* 2005;29(3):411–4.
- Lognoul, M., Theodorakopoulos, N., Hiel, M.P., Regaert, D., Broux, F., Heinesch, B., Bodson, B., Vandenbol, M., Aubinet, M., 2017. Impact of tillage on greenhouse gas emissions by an agricultural crop and dynamics of N₂O fluxes: insights from automated closed chamber measurements. *Soil Tillage Res.* 167, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.11.008>.
- Wu, J.T.H., Pham, T.Q., Adams, M.T. (2010). “Composite Behavior of Geosynthetic-Reinforced Soil (GRS) Mass.” Technical Report, Turner-Fairbank Highway Research Center, FHWA, US DOT.
- Davidson, E. A., & Janssens, I. A. (2006). *Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. Nature, 440(7081)*, 165–173. doi:10.1038/nature04514.
- Suseela, V., Conant, R. T., Wallenstein, M. D., & Dukes, J. S. (2011). *Effects of soil moisture on the temperature sensitivity of heterotrophic respiration vary seasonally in an old-field climate change experiment. Global Change Biology, 18(1)*, 336–348. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02516.x .
- Ferreira, A. L., Mauricio, R. M., Fernandes, F. D., Carvalho, M. A., Ramos, A. K. B., & Junior, R. G. (2012). *Ranking contrasting genotypes of forage peanut based on nutritive value and fermentation kinetics. Animal Feed Science and Technology, 175(1-2)*, 16–23. doi:10.1016/j.anifeedsci.2012.03.024 .
- Meixner, F.X., Yang, W.X., 2006. Biogenic emissions of nitric oxide and nitrous oxide from arid and semi-arid land. In: D’Odorico, P., Porporato, A., (Eds.), *Dryland Ecohydrology*. Springer, Dordrecht, pp. 233–255.
- Pilegaard, K., Skiba, U., Ambus, P., Beier, C., Brggemann, N., Butterbach-Bahl K. et al., 2006. Factors controlling regional differences in forest soil emission of nitrogen oxides (NO and N₂O). *Biogeosciences*, 3(4), 651–661.
- Schindlbacher, A. (2004). *Effects of soil moisture and temperature on NO, NO₂, and N₂O emissions from European forest soils. Journal of Geophysical Research, 109(D17)*. doi:10.1029/2004jd004590
- Schaufler, G., Kitzler, B., Schindlbacher, A., Skib, U., Sutton, M.A., Zechmeister-Boltenstern, S., 2010. Greenhouse gas emissions from European soils under different land use: effects of soil moisture and temperature. *Eur. J. Soil Sci.* 61(5), 683–696
- Davidson, E. A., Belk, E., & Boone, R. D. (1998). *Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. Global Change Biology, 4(2)*, 217–227. doi:10.1046/j.1365-2486.1998.00128.x
- Garten CT, Classen AT, Norby RJ (2009) Soil moisture surpasses elevated CO₂ and temperature as a control on soil carbon dynamics in a multi-factor climate change experiment. *Plant Soil* 319(1–2):85–94
- Conant, R. T., Paustian, K., & Elliott, E. T. (2001). *Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. Ecological Applications, 11(2)*, 343–355. doi:10.1890/1051-0761(2001)011[0343:gmacig]2.0.co;2
- Stoyan, H., De-Polli, H., Böhm, S., Robertson, G. P., & Paul, E. A. (2000). *Plant and Soil, 222(1/2)*, 203–214. doi:10.1023/a:1004757405147
- Xu, M., & Qi, Y. (2001). *Soil-surface CO₂ efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California. Global Change Biology, 7(6)*, 667–677. doi:10.1046/j.1354-1013.2001.00435.x.

Análise dos indicadores de Qualidade do Ambiente Interno nas ferramentas de certificação ambiental de edifícios

Isabel Consoli, Carlos Andrade, Ney Tabalipa

Isabel Oberderfer Consoli
Mestranda da Escola Superior de
Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
isabel.oc.consoli@alunos.ipb.pt

Carlos Alberto Rodrigues Andrade
Prof. Dr. da Escola Superior de
Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
andrade@ipb.pt

Ney Lyzandro Tabalipa
Prof. Dr. do Programa de Pós
Graduação em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Pato Branco - PR, Brasil
ntabalipa@gmail.com

Resumo—A arquitetura sempre desempenhou um papel importante para a humanidade, sendo abrigo, local de proteção e trabalho, de cultos, de cultura ou de lazer. Com o crescimento das cidades e desenvolvimento da população, os edifícios passaram a ser tratados como produtos, tendo por prioridade os benefícios financeiros, muitas vezes desconsiderando o meio ambiente e as necessidades de seus ocupantes. Com o surgimento do pensamento voltado para o desenvolvimento sustentável, foram criadas diversas ferramentas de avaliação e classificação de edifícios verdes. Ferramentas essas, que apresentam diretrizes de projeto, construtivas e administrativas que ditam o nível de sustentabilidade atingido pelo edifício que está a ser avaliado. Dentro destas, destaca-se o indicador de Qualidade do Ambiente Interno. Esse indicador, além de apresentar itens exclusivamente focados no bem-estar dos utilizadores, também apresenta elementos que irão resultar em maior eficiência energética e economia de recursos nas etapas de operação do edifício, quando bem empregados. Neste trabalho será discutida a forma de abordagem e de avaliação dos itens de Qualidade do Ambiente Interno em algumas das principais ferramentas de certificação ambiental do mundo.

Palavras-chave—Qualidade do ambiente interno, sustentabilidade, edifícios verdes, certificações.

Abstract—Architecture has always played an important role for humanity, becoming shelter, place for protection, culture or leisure. With the growth of cities and population development, buildings started to be treated as products, prioritizing profits and often disregarding the environment and the occupants needs. With the shift of focus towards sustainable development, several tools for evaluating and rating green buildings were created. These tools, which developed guidelines that must be followed, dictate the level of sustainability achieved by the building being evaluated. Among the parameters, stands out the indicator of Indoor Environmental Quality. This indicator, beyond presenting items focused on the well-being of users, also presents elements that will result in greater energy efficiency and resources savings in the stage of operation of the building. This paper will discuss the approach and evaluation of the Indoor Environmental Quality parameters in some of the main green building rating tools around the world.

Keywords—Indoor environmental quality, sustainability, green buildings, rating tools.

INTRODUÇÃO

O surgimento da arquitetura se deve às necessidades humanas de abrigo e proteção. Cabe ressaltar que ao longo do desenvolvimento da humanidade as expressões arquitetônicas foram importantes motivos que geraram novas habilidades técnicas e tecnológicas, bem como, expressões sociais e espirituais.

Com o crescimento da população e o desenvolvimento das cidades, especialmente após a revolução industrial, a construção civil passou a ser uma das principais consumidoras de recursos naturais e matérias-primas do mundo. Assim, a arquitetura, que inicialmente possuía em seus conceitos os ideais de funcionalidade e estética, passou a ser tratada como produto em busca de lucro [1].

A partir da década de 1970 o conceito de desenvolvimento sustentável ganhou visibilidade e começou a ser discutido, tornando-se pauta de diversos encontros e debates ao redor do mundo. Desde então, tomou-se consciência da existência limitada dos recursos naturais do planeta, dando início à proposição de ideias e medidas que tinham por intuito mitigar os efeitos negativos da humanidade no meio ambiente. Nesse mesmo período também tiveram início as discussões abordando a sustentabilidade na construção civil, englobando assuntos como a longevidade dos recursos e a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos decorrente do ambiente construído [2].

O termo “construção sustentável” foi definido pela primeira vez em 1994, na Conferência Internacional Sobre Construção Sustentável realizada em Tampa, na

Flórida. Durante o evento, o professor e investigador da Universidade da Flórida, Charles Kibert, idealizou o termo como "a criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos (para evitar danos ambientais) e a utilização eficiente dos recursos" [3].

A busca por uma forma de garantir a qualidade e a eficiência das construções que passaram a englobar os conceitos de sustentabilidade nas suas diretrizes de projeto, levou ao surgimento de algumas ferramentas que apresentam critérios e listas de verificação com diretrizes específicas que devem ser seguidas durante todas as etapas do ciclo de vida do edifício, desde o projeto, passando pela construção, operação e manutenção e possível demolição.

Vale lembrar que os sistemas de certificação ambiental e classificação para os edifícios foram desenvolvidos como uma forma de medir o nível de sustentabilidade atingido pelas construções verdes. Quanto melhores são as práticas empregadas, mais alto é o nível da certificação. O processo, que na grande maioria dos casos é voluntário, também significa garantia de qualidade para proprietários de edifícios e utilizadores. Além disso, projetistas e construtores têm a capacidade de mensurar o desempenho de seus produtos. [4]

AS FERRAMENTAS DE CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL PARA EDIFÍCIOS E SEUS INDICATIVOS

As organizações formadas para promover as construções verdes no mundo surgiram a partir da década de 1990. As primeiras entidades com essa finalidade foram o BRE (Building Research Establishment – Instituto de Investigação em Edifícios) sediado no Reino Unido, e o GBC (Green Building Council – Conselho de Construções Verdes) dos Estados Unidos da América. Atualmente existe o WGBC (World Green Building Council – Conselho Mundial de Construções Verdes), que reconhece uma diversidade de entidades com a mesma finalidade em todo o mundo [5].

As diversas ferramentas de avaliação existentes são desenvolvidas pelos órgãos e conselhos de construções verdes de cada país. Essas ferramentas apresentam uma ampla avaliação do impacto ambiental que determinada construção causa no ambiente. Cada uma delas possui diferenças significativas entre si, pois as diretrizes de projeto de cada local são únicas e particulares, sendo este o principal motivo pelo qual cada país procurou desenvolver um sistema baseado na sua realidade e no seu mercado específico.

Apesar de suas particularidades, as certificações contam com alguns princípios em comum. A maioria das avaliações são realizadas com base numa lista de verificação, onde itens considerados importantes são pontuados, e em seguida as pontuações são ponderadas em categorias principais. De acordo com a soma dos pontos, ao final será definido o nível de sustentabilidade atingido pela construção. Além disto, o resultado das avaliações deve ser de fácil compreensão e deve mostrar confiabilidade e transparência na apresentação dos dados [4].

A Tabela I apresenta algumas das certificações de edifícios verdes mais relevantes internacionalmente, associadas aos países de aplicação, destacando as categorias de avaliação consideradas em cada uma delas.

TABELA I. FERRAMENTAS DE CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL E SUAS CATEGORIAS DE AVALIAÇÃO

Ferramenta de Certificação	Categorias de Avaliação
BREEAM (Reino Unido, Espanha, Noruega, Holanda)	Gestão e administração Saúde e bem-estar Energia Transporte Água Materiais Resíduos Uso do solo e ecologia Emissões
CASBEE (Japão)	Qualidade do ambiente interno Qualidade dos serviços Preservação do ambiente externo Redução no consumo de energia Redução no consumo de recursos e materiais Ambiente externo
DGNB (Alemanha)	Qualidade do ambiental Qualidade econômica Qualidade funcional e sociocultural Qualidade técnica Qualidade dos processos Qualidade do local
GBC Brasil CASA (Brasil)	Implantação Uso eficiente da água Energia e atmosfera Materiais e recursos
GBC Brasil CASA (Brasil)	Qualidade do ambiente interno Requisitos sociais
HQE (França)	Localização Componentes Local de trabalho Energia Água Resíduos Manutenção Conforto higratérmico

Ferramenta de Certificação	Categorias de Avaliação
	Conforto acústico Conforto visual Conforto olfativo Qualidade dos espaços Qualidade do ar Qualidade da água
LEED (Estados Unidos da América)	Localização e transporte Sustentabilidade do local Eficiência da água Energia e atmosfera Materiais e recursos Qualidade do ambiente interno Prioridade regional
LiderA (Portugal)	Localização e integração Recursos Cargas ambientais Ambiente interno Durabilidade e acessibilidade Gestão ambiental e inovação

Algumas certificações apresentam um número maior de grupos de avaliação, enquanto outras focam em questões mais específicas à sua realidade.

Como forma de simplificar as análises, as categorias de avaliação podem ser agrupadas de acordo com o objetivo em comum de suas diretrizes e indicadores, visando a realização de uma análise comparativa equiparada. Esses grupos são:

- Qualidade do ambiente interno
- Recursos (materiais, energia e água)
- Cargas ambientais
- Vida útil
- Processos (construtivos e administrativos)
- Contexto (localização, implantação e transporte)
- Bônus e inovações

Neste trabalho será analisada a importância dada ao indicativo “Qualidade do Ambiente Interno” nas ferramentas de certificações de edifícios verdes citadas.

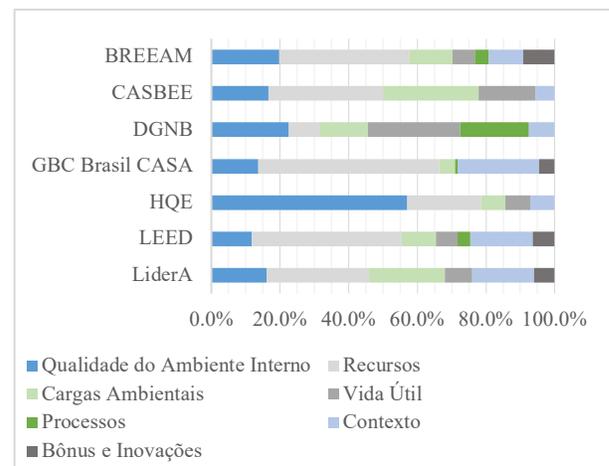
•A Qualidade do Ambiente Interno

Dentro dos indicativos presentes nas listas de verificação dos sistemas apresentados, nove critérios de qualidade destacam-se por englobar fatores socioculturais e funcionais. Esses itens ajudam a avaliar os edifícios em relação à saúde, conforto e satisfação do utilizador, bem como os aspectos essenciais da funcionalidade. Também são baseados nas necessidades e condicionantes do ser humano, e quando utilizados de

forma eficiente, garantem maior satisfação e produtividade nos ambientes internos, maior qualidade do produto (ambiente edificado), além de gerarem economia de recursos e eficiência energética na etapa de utilização do edifício.

A Qualidade do Ambiente Interno é um fator abordado por todas as ferramentas de certificação. Os itens que fazem parte desse grupo (apesar de sofrerem algumas variações na nomenclatura e na forma de abordagem dependendo da ferramenta) são: acessibilidade, automação dos sistemas, conforto olfativo, desempenho acústico, desempenho térmico, desempenho visual e lumínico, qualidade dos espaços internos e externos, qualidade interna do ar e segurança dos ocupantes.

Apesar de cada sistema atribuir pesos e ponderações diferentes para cada categoria de análise, a Qualidade do Ambiente Interno representa uma grande parcela da pontuação final nas certificações. A Fig 1 a seguir apresenta o peso atribuído para este grupo em cada uma



das ferramentas apresentadas.

Peso atribuído ao indicador Qualidade no Ambiente Interno entre as certificações ambientais de edifícios.

Observando-se estes dados fica evidente que essa categoria desempenha um papel de grande importância dentro das avaliações, pois é responsável por valores em torno de 15 a 20% da pontuação máxima que determinada certificação pode atingir (ou sendo responsável por mais de 50% da pontuação no caso da certificação HQE da França).

Isso mostra que para um edifício atingir os mais altos níveis de sustentabilidade, deve obrigatoriamente obedecer às diretrizes de qualidade no ambiente interno, que serão apresentadas em seguida.

a. *Acessibilidade*

A acessibilidade é um fator que está relacionado com a provisão de medidas eficazes que garantem o acesso seguro do e para o edifício. As áreas devem ser acessíveis para crianças, famílias, pessoas idosas, pessoas com dificuldades de locomoção ou portadoras de deficiências. Os acessos e áreas de circulação não devem possuir restrições à sua utilização, independentemente da situação pessoal [6] [7].

b. *Automação dos Sistemas*

Algumas medidas permitem aos ocupantes exercer a maior influência possível sobre o ambiente interior, aumentando o conforto conforme as necessidades. O controlo da ventilação, o posicionamento das proteções contra luz solar direta, o ajuste da temperatura e iluminação interna, são medidas que podem ser automatizadas através do estabelecimento de padrões considerados confortáveis para a maioria dos ocupantes. Dessa forma, independentemente das variações das condicionantes externas, o conforto interno estará sempre garantido de forma mecânica [7].

c. *Conforto Olfativo*

O conforto olfativo está relacionado à utilização de sistemas capazes de controlar ou redirecionar as fontes de odores desagradáveis. Essas fontes podem ser provenientes dos ambientes externos ao edifício ou de ambientes internos específicos, como áreas de cozinha, centrais de lixo, entre outros. As soluções de operação para melhorar o conforto olfativo envolvem planos de ventilação e exaustão adequados com o ambiente e com a fonte geradora dos odores [8].

d. *Desempenho Acústico*

Este critério tem como finalidade o alcance do conforto acústico nos ambientes internos, adequando os níveis sonoros às atividades e usos pretendidos.

Os riscos de incômodos ou doenças que o ruído possa produzir aos utilizadores deve ser reduzido. Para tal situação, diversas soluções podem ser adotadas para melhorar o design acústico do ambiente. Essas soluções geralmente são aplicadas aos sistemas construtivos, como paredes, lajes, pisos, revestimentos e esquadrias.

É dito que o edifício atende aos padrões adequados de desempenho acústico quando se apropria de soluções de isolamento acústico, considera os tempos de reverberação do som, utiliza elementos e materiais adequados para absorção sonora, entre outros [9] [10].

e. *Desempenho Térmico*

O conforto térmico influencia diretamente no aumento da produtividade e da satisfação dos ocupantes,

juntamente com o desempenho visual e acústico. A questão do conforto é fundamental no ambiente edificado, e sempre que possível deve ser atingido com o uso de elementos passivos ou bioclimáticos, adequando os elementos arquitetônicos às condições locais de implantação do edifício no terreno [9] [11].

Os níveis de temperatura, humidade do ar e de velocidade do vento devem ser adequados à ocupação e às atividades. Preferencialmente devem ser planeados para garantir conforto térmico durante os períodos de inverno e verão. Quando houver a ocorrência de situações extremas (frio ou calor) as estratégias mecânicas (ar condicionado, caldeiras) devem ser associadas às estratégias passivas, visando reduzir os consumos energéticos da habitação [7] [9].

O controlo da temperatura interna deve ser realizado através do estudo aprofundado da forma do edifício, do uso de materiais com maior ou menor inércia térmica, da implantação da edificação no terreno de acordo com a trajetória solar, entre outras estratégias bioclimáticas. Já a humidade do ar deve ser corrigida através do incentivo à ventilação natural, evitando níveis de humidade elevados ou muito baixos, permitindo a salubridade em todos os ambientes [6] [10].

f. *Desempenho Visual e Lumínico*

Os níveis de iluminação ideais para um edifício devem considerar as atividades que serão desenvolvidas em cada área, bem como as características dos ocupantes. Deve ser proposto o fornecimento suficiente e ininterrupto de luz natural e artificial em todas as áreas. Quando a iluminação natural não for suficiente para fornecer a luminância necessária à atividade, a iluminação artificial deve ser utilizada.

O conforto visual representa outro aspecto essencial do bem-estar geral e do trabalho eficiente e produtivo. A luz natural tem um efeito positivo sobre a saúde mental e física dos seres humanos. Além disso, o incentivo à utilização da luz do dia nos espaços internos fornece uma grande quantidade de economia de energia em termos de iluminação artificial [7].

As estratégias indicadas pelas ferramentas de certificação para garantir desempenho visual coerente e adequado são: incentivo à iluminação natural nos ambientes internos e nos locais de utilização e trabalho, contato visual com o exterior, controlo da luz solar direta (evitar o brilho excessivo), planeamento e controlo da iluminação artificial (brilho, cor, temperatura, posição dos pontos de luz) evitando que pontos desnecessários

sejam inseridos, contribuindo para o desperdício de energia [6] [12].

g. Qualidade dos Espaços Internos e Externos

Fornecer aos utilizadores de determinado edifício espaços internos e externos de qualidade, que acomodem ampla variedade de usos recreativos e funcionais, aumenta a sustentabilidade do produto e o conforto de todos. Devem ser previstos sempre que possível espaços internos para convívio e comunicação e áreas externas de lazer, como terraços, varandas, jardins. A integração do homem com a natureza, e de obras de arte com o empreendimento, são práticas aconselháveis em todos tipos de edificações [7].

Em relação aos ambientes internos, é indispensável que o dimensionamento dos espaços seja adequado com as atividades e mobiliários requeridos. Os elementos de decoração devem ser compatíveis com o uso, como as cores das paredes, piso e teto. Além disso, durante a etapa de utilização, devem ser previstos protocolos periódicos de limpeza [12] [10].

h. Qualidade Interna do Ar

Para afirmar com precisão se as condições internas do ar são adequadas ao uso, torna-se necessária uma avaliação dos vários elementos que possam influenciar nessa qualidade. Nos espaços internos devem ser observados fenômenos como a ventilação natural, a emissão de COVs (Compostos Orgânicos Voláteis) além de possíveis microcontaminações. Ao nível do espaço externo devem ser analisadas as condições de vento e a existência de vegetação, o que pode contribuir para melhorar a qualidade do ar exterior [9].

O ar que os ocupantes do edifício respiram é fornecido através dos sistemas de ventilação, sejam eles naturais ou mecânicos. A qualidade deste ar pode ser comprometida por contaminantes, por esse motivo é importante que um número suficiente de trocas de ar nos períodos de maior uso seja obtido. Trocas de ar em excesso são consideradas desperdício em termos de energia (pois comprometem as questões térmicas e de humidade do ar), assim como poucas trocas podem contribuir para ambientes internos de baixa qualidade [11].

Em casos onde a ventilação natural não seja suficiente ou em ambientes sem acesso ao exterior, deve ser utilizada a ventilação mecânica ou os sistemas que trabalhem em conjunto (como sistemas de exaustão) para garantir as trocas de ar necessárias [11].

i. Segurança dos dos Ocupantes

Os parâmetros de segurança dos utilizadores podem envolver fatores humanos e naturais. O design dos edifícios deve ser concebido de forma a evitar situações perigosas no próprio edifícios e em sua vizinhança imediata, sempre que possível.

É primordial que os edifícios apresentem medidas de segurança contra roubos ou invasões. Além disso, é considerada uma boa prática a avaliação de riscos para os perigos naturais que podem afetar a construção, e medidas para mitigar esses riscos devem ser implementadas (riscos de terremotos, inundações, entre outros). A fim de evitar problemas relacionados à segurança ao longo da vida útil da edificação, também deve ser avaliada a necessidade de manutenção periódica dos sistemas, realizando intervenções sempre que necessário [6] [7] [12].

^w ANÁLISE COMPARATIVA

Faz-se importante destacar que nem todas as avaliações abrangem a totalidade das nove diretrizes consideradas. Cada avaliação segue as necessidades apresentadas pelas características do seu país de aplicação, como o clima, condições geográficas, legislações e o mercado imobiliário local. Há também as avaliações que considerem itens semelhantes às apresentadas em outras categorias, excluindo-as do grupo Qualidade do Ambiente Interno.

A Fig. 2 apresenta um quadro comparativo, identificando quais itens fazem parte do grupo de pontuação em cada ferramenta de certificação.

	BREEAM	CASBEE	DGNB	GBC Brasil CASA	HQE	LEED	LiderA
Acessibilidade	●		●	●	●		●
Automação dos sistemas			●				
Conforto Olfativo					●		
Desempenho acústico	●	●	●	●	●	●	●
Desempenho Térmico	●	●	●	●	●	●	●
Desempenho Visual / Lumínico	●	●	●	●	●	●	●
Qualidade dos Espaços Internos e Externos	●		●		●		
Qualidade Interna do Ar	●	●	●	●	●	●	●
Segurança dos Ocupantes	●	●	●		●		

Quadro comparativo entre os itens avaliados no indicador de Qualidade no Ambiente Interno.

A acessibilidade, apesar de ser considerada uma boa prática que deve ser aplicada a qualquer tipo de projeto (edifícios verdes ou não), é tratada na maioria dos casos como qualidade do ambiente interno. Pode também estar

vinculada às análises de qualidade dos espaços internos e externos.

O item automação dos sistemas é apresentado apenas na certificação alemã DGNB. Por se tratar de uma tecnologia em expansão, os elementos que permitem a adaptabilidade do ambiente às condições externas de forma mecânica e automática não são fundamentais para as restantes certificações. Também há uma certa controvérsia neste item, pois a automatização dos sistemas implica em consumo extra de energia elétrica, enquanto todos os demais parâmetros visam à redução do consumo e à eficiência energética.

O conforto olfativo é apresentado como item específico pela certificação francesa HQE, porém em outros casos pode ser apresentado juntamente com a qualidade interna do ar.

Os fatores de maior relevância para o conforto, bem-estar e aumento da produtividade humana são englobados por todas as ferramentas. A qualidade interna do ar e os desempenhos visual, térmico e acústico representam um papel fundamental na sustentabilidade dos ambientes construídos, e esse fato é unânime dentre as ferramentas de certificação analisadas.

CONCLUSÕES

Edifícios que possuam ambientes salubres e que atendam aos requisitos de conforto para o ser humano, melhoram significativamente o rendimento e aumentam o desempenho na realização de tarefas em qualquer área. A integração dos espaços de trabalho com o ambiente natural também proporciona maior bem-estar a todos. Já a redução no uso de soluções mecânicas para as adequações térmicas, ventilação ou iluminação artificial, fazem com que a edificação obtenha maiores níveis de eficiência energética, reduzindo o consumo de energia elétrica na etapa de operação bem como a manutenção desses elementos.

A utilização das ferramentas de certificação ambiental para edifícios é uma forma de garantir que o ambiente construído ande em conformidade com os pilares da sustentabilidade, harmonizando as questões ambientais, humanas e econômicas em um mesmo produto. Cada certificação possui suas particularidades, e a avaliação do nível de sustentabilidade através dessas certificações é uma forma de garantir a qualidade aos futuros utilizadores, e ao mesmo tempo respeitar as condicionantes ambientais de cada localidade.

REFERÊNCIAS

- H. M. I. do E. Santo, Procedimentos para uma certificação da construção sustentável. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2010.
- M. Pinheiro, Ambiente e construção sustentável. Amadora, Portugal: Instituto do Ambiente, 2006.
- M. Bauer, P. Mösle e M. Schwatz, Green Building: Guidebook for sustainable architecture. Stuttgart, Germany: Springer, 2007.
- A. Sender e K. Delchet-Cochet, "Green building assessment methods, the importance of the context: a comparison between Brasil and France," 4 congrès TRANSFORMARE, pp. 1-17, 2014.
- BREEAM, BREEAM International New Construction 2016: Technical Manual. London: BRE, 2016.
- DGNB System, DGNB System: criteria set new construction building.: DGNB GmbH, 2018.
- HQE, HQE echeme: environmental performance of residential building. Paris: Cerway, 2014.
- Manuel Duarte Pinheiro, LiderA: Sistema voluntário para a sustentabilidade dos ambientes construídos. Lisboa: Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2011.
- GBC Brasil, Certificação Green Building Council Brasil - CASA, 2019.
- USGBC, LEED Green Associate Study Guide.: U.S. Green Building Council, 2009.
- IBEC, CASBEE for building (New Constructions): Technical Manual.: Japan Sustainable Building Consortium, 2014.
- R. Rogers, Cities for a small planet. Philip Gumuchdjian, London: Ed Gustavo Gil, 1998.

Evaluación del potencial de tres azúcares simples para la producción hidrógeno por vía fermentativa

Ana Maria Bautista, Dorian Garcia, Angélica Avendaño

Ana María Rivera Bautista
*Universidad Nacional de
 Colombia – Sede Palmira –
 Facultad de Ingeniería y
 Administración. Carrera 32 No.
 12-00, Chapinero, Vía
 Candelaria, Palmira, Valle del
 Cauca, Colombia*

Dorian Prato-Garcia
*Universidad Nacional de
 Colombia – Sede Palmira –
 Facultad de Ingeniería y
 Administración. Carrera 32 No.
 12-00, Chapinero, Vía
 Candelaria, Palmira, Valle del
 Cauca, Colombia*

dpratog@unal.edu.co

Angélica Robayo Avendaño
*Universidad Santiago de Cali,
 Campus Pampalinda – Facultad
 de Ingeniería. Calle 5 No. 62-00,
 Cali, Valle del Cauca, Colombia.*

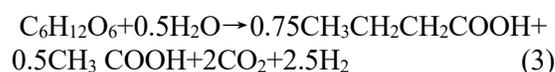
Abstract— En este trabajo se evidenció el potencial de un proceso fermentativo para la producción de bio-hidrógeno a escala laboratorio usando xilosa, lactosa y glucosa como sustrato. La selección de la mejor condición operativa mediante un diseño experimental permitió maximizar el uso del sustrato y reducir el efecto de la inhibición por sustrato y microorganismos. En este trabajo se demostró que resulta viable obtener hasta 2 mol de H₂ por mol de sustrato por vía fermentativa en condiciones mesofilicas. Los datos resultan potencialmente de interés para el país, teniendo en cuenta que se podría determinar la capacidad de producción de un combustible de alto valor agregado a partir de biomasa residual.

Keywords—*bio-hydrogen, fermentative, glucose, lactose, xylose.*

INTRODUCCIÓN

La producción por vía biológica de combustibles y materias primas a partir de materias primas renovables es considerada una alternativa prometedora para mitigar el efecto del cambio climático, reducir la contaminación de los cuerpos de agua y minimizar el impacto sobre el costo de los alimentos [1,2]. La producción de hidrógeno mediante bacterias fermentativas en fase oscura (*Clostridia*, *Ethanoligenens*, *E. coli*) permiten la transformación parcial de sustratos orgánicos en una corriente gaseosa (H₂:~60% y CO₂:~40%) y una fase líquida que podría contener etanol, butanol, ácido láctico, acetona y ácidos grasos volátiles (acético, butírico, propiónico). Teóricamente, se podrían producir hasta 4 mol de H₂ por cada mol de glucosa mediante una ruta que genera como subproducto en fase acuosa el ácido acético (Ec. 1) y hasta 2 mol de H₂ por cada mol de glucosa cuando el subproducto es ácido butírico (Ec. 2) [3-5]. Cuando la

ruta del butirato es predominante los rendimientos de hidrógeno por lo general no excederán las 2.5 mol de H₂ por cada mol de glucosa fermentado (Ec. 3).



Es importante notar que una buena parte de los residuos provenientes del agro y la industria de los alimentos están constituidas por unidades de celulosa y hemicelulosa, las cuales pueden ser transformadas hasta azúcares simples (glucosa y xilosa) mediante hidrólisis a baja temperatura [6]. La producción anual de residuos agrícolas a nivel mundial alcanza los 4.5 billones de toneladas, los cuales están constituidos por celulosa (30-40%) y hemicelulosa (20-30%). Esto sugiere un potencial de producción de azúcares de hasta 440 g (glucosa) y 340 g (xilosa) por cada kg de residuo generado [6-8]. La industria de la leche y sus derivados es una fuente de lactosa (glucosa+lactosa) potencialmente útil para la síntesis de hidrógeno por vía fermentativa. En general, el suero y los sólidos retenidos durante el filtrado de la leche podrían contener hasta 6% en peso de lactosa [9].

Un hecho clave para un país que busca garantizar su seguridad energética, alimentaria y reducir el impacto ambiental de sus actividades implicaría la síntesis de combustibles más limpios (por ejemplo hidrógeno) a partir de sustratos renovables o de materias primas consideradas “residuos”. El bioH₂ es un combustible de características notables puesto que su combustión produce únicamente

agua y genera 2.75 veces más energía que otros combustibles [10]. Ha sido evidenciado que la adición de hasta un 10% de H_2 en una mezcla de biogás (CH_4 y CO_2), mejora la eficiencia térmica de motores, reduce en un 57% la emisión de hidrocarburos y no incrementa significativamente la emisión de NO_x debido a la acción diluyente del CO_2 [11,12]. Por otra parte, la corriente generada en fase líquida podría constituirse en una fuente adicional de biocombustibles y materias primas para la industria nacional sin la necesidad de incrementar el área de los cultivos energéticos

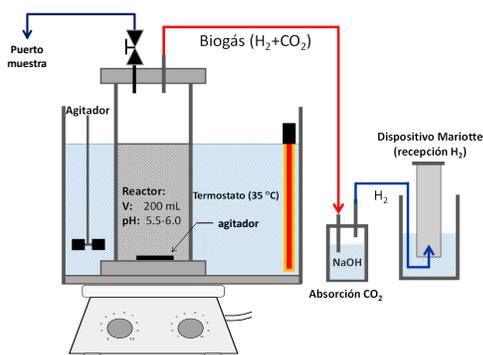
^bMATERIALES Y MÉTODOS

a. Reactivos

Los reactivos empleados para la preparación del medio mineral anaerobio se indican a continuación: $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (Fischer Scientific, ACS, 99.9%), H_2SO_4 (Fischer Scientific, ACS, 96%), NaOH (Yequim Ltda, 99% peso), glucosa anhidra (Biopack, ACS, 99%), Lactosa monohidratada (Merck, ACS, 99%), xilosa (Merck, ACS, 99%), K_2HPO_4 (Biopack, ACS, 99%), NH_4Cl (Biopack, ACS, 99%), $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ (Biopack, ACS, 99%), $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ (Biopack, ACS, 99%), $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ (Biopack, ACS, 99%), $NaHCO_3$ (Biopack, ACS, 99%), H_3BO_4 (Yequim, ACS 99.8%), $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ (Biopack, ACS, 99%), $ZnCl_2$ (Biopack, ACS, 99%), Fenol (Carlo Erba, ACS, 99%). Todas las soluciones requeridas para los ensayos y análisis fueron preparadas disolviendo la cantidad apropiada de reactivo en agua destilada.

b. Métodos experimentales

Para los ensayos fermentativos se usaron 10 reactores con un volumen útil de 200 mL. En cada reactor se llevó a cabo la fermentación de los azúcares mencionados en condiciones mesofílicas (35 °C). El biogás, principalmente H_2 y CO_2 , generado durante la fermentación fue conducido hasta un sistema que contiene una solución absorbente de dióxido de carbono (NaOH 5% peso). El volumen total de biogás libre de CO_2 se determinó usando una botella de Mariotte (Fig. 1).



Montaje experimental simplificado.

Las variables de interés para la selección de la mejor condición operativa serán la concentración de sustrato (X_1 , gL^{-1}) y la concentración de microorganismos (X_2 , gL^{-1}). La mejor condición operativa se determinó mediante un diseño experimental factorial tipo CCD (Central Composite Design). La selección de la mejor condición de operación se realizó en el programa Design-Expert (Stat-Ease, Inc.). La variable de respuesta para el diseño fue el rendimiento de la producción de hidrógeno, la cual se calcula a partir de la relación existente entre: las moles de hidrógeno generadas y las moles de sustrato consumido. Los niveles seleccionados fueron: sustrato (2, 4, 6 gL^{-1}) y microorganismos (1, 3, 5, gL^{-1}). La fuente de inóculo fue suministrada por un ingenio azucarero de la región. El inóculo fue sometido a un choque térmico a 104 °C durante 24h para seleccionar a las microorganismos productores de hidrógeno [13].

^cRESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es importante destacar que en este trabajo se utilizó un consorcio microbiano anaerobio mixto proveniente de un reactor tipo UASB de la industria de la caña de azúcar. La estrategia para la especialización del consorcio fue el choque térmico a 110 °C durante 24 h. Tanto el consorcio microbiano como los sustratos no recibieron ningún tipo de tratamiento adicional para favorecer el rendimiento del proceso. La producción de hidrógeno resulta clave para el desarrollo económico del país, teniendo en cuenta que se trata de un combustible que tiene como principal producto de combustión el agua. El 96% del hidrógeno que se produce actualmente se sintetiza a partir del metano presente en el gas natural (reformado de gas natural). Factores como las temperaturas altas requeridas (700-1100 °C), la presión elevada del sistema de reacción y separación (10-30 atm) y las reservas limitadas de gas natural afectan su sostenibilidad a largo plazo.

En la síntesis de hidrógeno por vía fermentativa a partir de azúcares simples depende de variables de proceso como el pH, la temperatura, el inóculo, el tiempo de retención, y la relación de sustrato a microorganismos [8-10]. El pH seleccionado para el proceso (4.7 ± 0.1) es importante puesto que permite controlar la ruta metabólica, la actividad de la hidrogenasa y las especies presentes en el cultivo (principalmente *Clostridium spp.*) hacia la síntesis de hidrógeno. Asimismo, el uso de un diseño experimental tipo CCD permitió reducir el efecto de la inhibición por concentración por sustrato, el cual conduce a una reducción del rendimiento debido al cambio de la ruta metabólica hacia la solventogénesis (etanol-acetona). En la Tabla 1 se observa que es factible obtener los siguientes rendimientos de hidrógeno ($mmol H_2 mmol^{-1}$ sustrato) para un proceso fermentativo en condiciones mesofílicas

en un sistema de reacción tipo batch: Glucosa: 1.6, Xilosa: 1.9, y Lactosa: 2.5.

TABLA 1. PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE AZÚCARES SIMPLES

Los datos de velocidad de producción de hidrógeno (VPH₂) fueron determinados a 35 °C en condiciones batch. El modelo de Gompertz (Ec. 4) ajustó de manera adecuada para los sustratos de interés. En dicho modelo VH corresponde al volumen total de hidrógeno (en mL) producido en el tiempo t . H_{max} corresponde a la cantidad máxima producida de hidrógeno (en mL) y R_{max} hace referencia la velocidad de producción máxima de hidrógeno observada en el ensayo (mLh⁻¹). Finalmente, γ corresponde a la duración (en h) de la fase de retardo (antes de iniciar la fase exponencial). Los datos de H_{max} , R_{max} , y γ fueron determinados en el módulo de optimización de Scilab (Scilab Enterprises S.A.S.). Los datos mostrados en la Tabla 2 resumen los resultados para los sustratos de interés.

$$VH = H_{max} \exp \left(-\exp \left(\frac{2.72 R_{max}}{H_{max}} (\gamma - t) + 1 \right) \right) \quad (4)$$

TABLA 2. MODELAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE AZÚCARES SIMPLES

Sustrato	R_{max} (mLh ⁻¹)	H_{max} (mL)	γ (h)	r^2
Glucosa	40±3	450±20	13	0.98
Xilosa	60±3	80±10	15	0.98
Lactosa	10±2	90±10	20	0.98
Glucosa (literatura)	54-170	90-305	5-25	0.99
Xilosa (literatura)	50-70	70-120	5-25	0.99
Lactosa (Literatura)	5-13	60-120	5-25	0.99

CONCLUSIONES

En este trabajo se logró determinar el rendimiento de hidrógeno a partir de tres sustratos representativos de la agroindustria colombiana: la glucosa, la xilosa y la lactosa. El uso de un proceso fermentativo mesofílico (35 °C) y la operación en condiciones batch sugieren que es viable obtener los siguientes rendimientos para la síntesis de hidrógeno: 1.6 mmol de H₂ mmol⁻¹ de glucosa, 1.9 mmol de H₂ mmol⁻¹ de xilosa y 2.5 mmol de H₂ mmol⁻¹ de lactosa. Los resultados sugieren un potencial notable para

la agroindustria colombiana teniendo en cuenta la abundancia de estas materias primas durante todo el año.

ACKNOWLEDGMENT

Rendimiento, (mmol H ₂ /mmol sustrato)				
Sustrato	Teórico	Consorcio mixto	Este trabajo	Cultivos puros rendimiento
Glucosa	4.0	1.1-2.8	1.7	1.1, <i>E. cloacae</i> 2.2, <i>C. acetobutyricum</i> 2.8, <i>C. beijerinckii</i> L9
Xilosa	3.3	0.5-2.7	2.0	2.3, <i>Clostridium beijerinckii</i> 0.88, <i>T. saccharolyticum</i>
Lactosa	8	0.8-3.6	2.5	2.7, <i>C. saccharoperbutylacetonicum</i> 3.0, <i>C. termolacticum</i>

Este proyecto fue financiado en su totalidad por la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Proyecto HERMES 30181: Evaluación del potencial de tres azúcares simples para la producción de hidrógeno por vía fermentativa.

REFERENCES

- Argun H. and Kargi F. 2011 Bio-hydrogen production by different operational modes of dark and photo-fermentation: An overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36, 7443–7459
- Show, K.Y., Lee, D.J., Chang, J.S., 2011. Bioreactor and process design for biohydrogen production, *Bioresour. Technol.* 102, 8524–8533
- Hallenbeck, P., Ghosh, D., 2009. Advances in fermentative biohydrogen production: the way forward?, *Trends Biotechnol.* 27, 287–297.
- Kothari, R., Sinbgh, D.P., Tyagi, V.V., Tyagi, S.K., 2012. Fermentative hydrogen production – An alternative clean energy source. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16, 2337– 2346.
- Khanal, S.K., 2008. *Anaerobic biotechnology for bioenergy production, principles and applications*, Inc. first ed. John Wiley and Sons, USA.
- Calli, B., Schoenmaekers, Vanbroekhoven, K., Diels, L., 2008. Dark fermentative H₂ production from xylose and lactose—Effects of on-line pH control *International Journal of Hydrogen Energy*. 33, 522–530.
- Nissila, M.E., Lay, C.H., Puhakka, A., 2014. Dark fermentative hydrogen production from lignocellulosic hydrolyzates e A review. *Biomass and Bioenergy*. 67, 145–159.
- Wu, X.B., Huang, G.F., Bai, L.P., Long, M.N., Chen, Q.X., 2014. Enhanced hydrogen production from xylose and bamboo stalk hydrolysate by overexpression of xylulokinase and xylose isomerase in *Klebsiella oxytoca* HP1. *International Journal of Hydrogen Energy*. 39, 221–230.
- Dávila, G., Alatríste, F., de Leon, A., Razo, E., 2008. Fermentative hydrogen production in batch experiments using lactose, cheese whey and glucose: Influence. *International Journal of Hydrogen Energy*. 33, 4989–4997.
- Jung, K.W., Kim, D.H., Shin, H.S., 2011. Bioreactor design for continuous dark fermentative hydrogen production. *Bioresour. Technol.* 102, 8612–8620.

- Park, C., Lee, Y., Kim, C., Lee, S., Moriyoshi, Y., 2011. Performance and emission characteristics of a SI engine fueled by low calorific biogas blended with hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*. 36, 10080-10088.
- Porpatham, E., Ramesh, A., Nagalingam, B., 2007. Effect of hydrogen addition on the performance of a biogas fuelled spark ignition engine. *International Journal of Hydrogen Energy*. 32, 2057-2065.
- Buitrón, G., Prato-Garcia, D., Zhang, A., 2014. Biohydrogen production from tequila vinasses using a fixed bed reactor. *Water Science and Technology*. 70, 1919-1925
-

Aplicación de una herramienta de decisiones en la selección de la mejor práctica agrícola para síntesis de biocombustibles

Angélica Avendaño, Dorian Garcia

1st Angélica Robayo Avendaño
Facultad de Ingeniería
Universidad Santiago de Cali
Cali, Colombia

angelica.robayo00@usc.edu.co
2nd Dorian Prato Garcia
Facultad de Ingeniería y
Administración
Univesidad Nacional de

Colombia
Palmira, Colombia
dpratog@unal.edu.co

Abstract— Dada la creciente preocupación por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, se han promovido opciones de respuesta como el uso de biocombustibles. La industria de la caña representa una alternativa conveniente para la generación de bioetanol. No obstante, su estabilidad podría afectarse debido a los eventos climáticos cambiantes. Con base en ello, este trabajo tuvo como fin aplicar la herramienta QFD para la selección de las mejores practicas usadas en la producción de alcohol a partir de caña de azúcar. Los resultados indican que las prácticas más convenientes son agroecología y agricultura orgánica.

Keywords—biocombustible, agricultura, cambio climático, práctica agrícola

^{a.} INTRODUCCIÓN

Con el transcurso de los años se ha incrementado la necesidad por disminuir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂). De acuerdo con cifras de la IPCC, la mayor proporción de emisiones de carbono generadas al ambiente, se atribuyen a la combustión de combustibles fósiles (98%). Como alternativas de reducción de las emisiones provenientes de este tipo de combustibles, se ha promovido el uso de biocombustibles. Los cuales utilizan material derivado de la biomasa para la producción de energía (etanol y electricidad). Para su desarrollo, se usan como principales fuentes de materia prima cultivos de caña de azúcar, maíz, trigo, remolacha, cebada y avena, entre otros. Estos cultivos son representativos dada su capacidad para la producción de alimentos de consumo básico, así como para la generación de energía. Particularmente, en la industria de la caña, la generación de bioetanol presta particular interés, considerando la naturaleza renovable de las materias primas empleadas para su desarrollo [1]. Sin embargo, su estabilidad y potencial de rendimiento podría verse afectado a causa del desarrollo de eventos climáticos cambiantes [2].

Considerando el panorama expuesto, se dispone de diversas prácticas agrícolas que faciliten la producción de caña de azúcar, permitiendo la adaptación del cultivo al cambio climático. Entre estas, se destacan la agricultura de conservación, la agricultura orgánica, la agricultura intensificada, la agroecología y la siembra con variedades genéticamente modificadas [4,5]. Existen diferentes herramientas usadas para la selección de alternativas agrícolas, como el análisis jerárquico (AHP) o la aplicación de modelos de simulación que pronostican la capacidad de producción de una práctica agrícola bajo determinadas condiciones ambientales. Sin embargo, el Despliegue de Función de Calidad (QFD) tiene la ventaja de ser simple de aplicar y de trabajar de forma independiente o complementaria con otras herramientas o modelos [6]; además, en el sector agrícola su aplicación es relativamente novedosa. Dada la relevancia en el tema, la presente investigación tuvo como fin aplicar la metodología QFD para seleccionar las mejores practicas agrícolas usadas en la producción de alcohol a partir de caña de azúcar, considerando el impacto del cambio climático en la eficiencia de los cultivos.

^{b.} MATERIALES Y METODOS

Para el desarrollo del QFD se conformo un grupo de expertos con experiencia en el tema de biocombustibles. El QFD incluye variables de entrada, denominadas “Que” y alternativas de respuesta, denominadas “Como”. Para nuestro estudio, se incluyó una lista de requerimientos (variables Que) para el desarrollo de los cultivos, con base en información reportada en la literatura. Encontrando como variables relevantes la utilización de: agua, suelo, fertilizantes químicos, insecticidas químicos y herbicidas químicos para el desarrollo de la práctica agrícola. La lista de requerimientos fue sometida a juicio de expertos, quienes asignaron una puntuación considerando la

incidencia de cada variable en el funcionamiento del cultivo. Las puntuaciones tuvieron pesos entre 1 y 5, otorgando el mayor valor a los requerimientos más importantes y 1 a los menos relevantes.

Seguidamente, se procedió a definir las alternativas de respuesta, traducidas en este estudio como las prácticas agrícolas que facilitarían la producción de biocombustibles a partir de caña de azúcar. Con base en la literatura se encontró que dentro de las alternativas más usadas están la agricultura de conservación, la agricultura orgánica, la agricultura intensificada, la agroecología y el uso de cultivos genéticamente modificados.

Posteriormente, se desarrolló una matriz de relaciones, considerando la incidencia de los “que” en el desarrollo de los “cómo”, que en nuestro estudio se refiere a relacionar los requerimientos del cultivo y su incidencia en el desarrollo de la práctica agrícola. Acorde a ello, los expertos asignaron una puntuación entre 1 y 3 a cada relación, siendo 1 la de mayor incidencia y 3 la calificación otorgada a un requerimiento cuyo uso no era relevante para el desempeño de la práctica agrícola.

Para la selección de la alternativa más conveniente, se calculó el Peso Absoluto (PA) (Ec. 1), valor que sirvió de referencia para calcular el Peso Relativo (PR) (Ec.2). Con base en estos resultados, se definió la prioridad (PRI) asignando como primera opción la PR de mayor valor y las demás en orden descendiente.

Ec. 1

Ec. 2

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para este estudio, los requerimientos que obtuvieron mayor puntuación fueron el agua (5) y el suelo (5), seguidos por los fertilizantes químicos (3), herbicidas e insecticidas químicos (2).

En relación a las prácticas agrícolas se encontró que, la agricultura intensificada (AI) obtuvo la menor puntuación (PA=17, PR= 0.14). La AI mejora los rendimientos de producción usando amplias extensiones de monocultivos, sin embargo, se requiere de un amplio uso de agroquímicos para su cuidado [7].

El uso de variedades genéticamente modificadas (GM) ocupó el tercer lugar (PA=21, PR= 0.17), resaltando como ventaja las características de resistencia a insectos (RI) y tolerancia a herbicidas (TH), que pudieran hacer factible el crecimiento de la planta bajo ciertas condiciones (estrés hídrico); no obstante, en algunas variedades TH se podría estimular la aparición de malezas resistentes al herbicida

[8]. La agricultura de conservación (AC) ocupó el segundo lugar (PA=24, PR= 0.19), esta alternativa fomenta el mantenimiento de las coberturas vegetales en el suelo, buscando mejorar su fertilidad, sin embargo, se hace necesario el uso de agroquímicos para el cuidado del cultivo.

La Agricultura Orgánica (AO) y la Agroecología (AE) resultaron ser las alternativas más viables obteniendo PA=31 y PR= 0.25, en ambos casos. LA AO se considera una opción ambientalmente amigable, ya que hace uso de fertilizantes y plaguicidas orgánicos, que impactan en menor grado la actividad biológica y fertilidad del suelo. Por su parte, la AE, tiene la característica de ser altamente adaptable a condiciones climáticas cambiantes, reduciendo a su vez la emisión de GEI al realizar una mayor retención de carbono en el suelo [9] (Tabla 1).

TABLA 1. MATRIZ QFD APLICADA A ALTERNATIVAS AGRÍCOLAS

	Importancia	AC	AO	AI	AE	VGM
Agua	5	1	1	1	1	1
Suelo	5	1	1	1	1	
Fertilizantes químicos	3	2	3	1	3	1
Insecticidas	2	2	3	1	3	2
Herbicidas	2	2	3	1	3	2
Peso Absoluto, (PA)		24	31	17	31	21
Peso Relativo, (PR)		0.19	0.25	0.14	0.25	0.17
Prioridad, (PRI)		2	1	4	1	3

CONCLUSIONES

El análisis QFD indica que el uso de prácticas agroecológicas y la agricultura orgánica podrían ser las alternativas más convenientes para adaptar la producción de cultivos de caña a condiciones climáticas cambiantes.

El desarrollo del QFD junto con la participación de un grupo de expertos, resulta ser una herramienta conveniente para la toma de decisiones en la agricultura.

REFERENCIAS

- Prato García, D., Robayo Avendaño, A., & Vásquez Medrano, R. C. (2018). Síntesis de energía y materias primas a partir de bagazo y vinazas de caña. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- Fyles, H., & Madramootoo, C. 2016 Key Drivers of Food Insecurity. En *Emerging Technologies for Promoting Food Security* (págs. 3-4). United States of America: Elsevier.
- G. Eason, B. Noble, and I. N. Sneddon, "On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions," *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, vol. A247, pp. 529–551, April 1955. (*references*)
- Hole, D., Perkins, A., Wilson, J., Alexander, I., Gice, P., & Evans, A. 2005 Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* 122, 113-130.
- Adenle, A., Azadi, H., & Arbiol, J. 2015 Global assessment of technological innovation for climate change adaptation and mitigation in developing world. *Journal of Environmental Management* 161, 261-275
- Scillo, R., Isabelle, D., & Shakiba, A. 2017 Linking advanced biofuels policies with stakeholder interests: A method building on Quality Function Deployment. *Energy Policy* 126-137.
- Emmerson, M., Morales, M., Oñate, J., Batáry, P., Berendse, F., Liira, J., . . . Bengtsson, J. 2016 How Agricultural Intensification Affects Biodiversity and Ecosystem Services. In A. Dumbrell, R. Kordas, & G. Woodward, *Advances in Ecological Research* (Vol. 55, pp. 43-97).
- Benbrook, C. 2012 Impacts of genetically engineered crops on pesticide use in the U.S. – the first sixteen years. *Environmental Sciences Europe* 24, 24.
- Altieri, M., & Toledo, V. 2011 The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *The Journal of Peasant Studies* 38(3), 587-612.

Characterization of bioconcrete and the properties for self-healing

Lais Alves, Leniza Alves, Murilo Mello, Silvio de Barros

Lais A. Alves

*Department of Mechanical Engineering
Federal Center of Technological
Education Celso Suckow da Fonseca
(CEFET/RJ)
Rio de Janeiro, Brazil
lais.alves@cefet-rj.br*

Leniza S. C. Alves

*Department of Construction
Engineering
Federal University of Rio de Janeiro
(UFRJ)
Rio de Janeiro, Brazil
alves.leniza@gmail.com*

Murilo M. Mello

*Department of Civil Engineering
Veiga de Almeida University (UVA)
Rio de Janeiro, Brazil
murilomonfort@gmail.com*

Silvio de Barros

*Department of Mechanical Engineering
Federal Center of Technological
Education Celso Suckow da Fonseca
(CEFET/RJ)
Rio de Janeiro, Brazil
silvio.debarros@gmail.com*

Abstract— Concrete is the most widely used material in the world. It is a material with several advantages such as cost, ease of execution, adaptation to different shapes, satisfactory resistance to atmospheric effects, thermal and mechanical resistance, and extended life span. Therefore, the quest for its improvement is constant. Despite all these advantages, it presents a pathological manifestation intrinsic to the material itself - the appearance of cracks - which, depending on the cause, generates very high maintenance and conservation costs and can compromise the entire structure. Despite all preventive measures, it is not always possible to avoid the appearance of this pathology, which tends to intensify the constant search for greater use of its resistance. To remedy this problem, a Dutch microbiologist has developed a bio-based self-regenerating concrete that can not only reduce the need and, consequently, costs for maintenance of the concrete structure, but also increase its durability.

Keywords— *bioconcrete; self-healing concrete; self-healing materials; cracks.*

^a INTRODUCTION

Properties are designed and built to meet the needs of the users for a long period. To attend the expected lifespan, the constant practice of preventive maintenance is essential [1]. Concrete is the first option when building something to have a long useful life, which makes it one of the most used materials in construction in general. Despite every attempt already used in the search for its improvement, it still presents considerable failures. Regardless of any care in mixing and reinforcement, the material will eventually crack by expansion and contraction, which results in an unattractive appearance, and can also compromise the entire structure of the building. Some treatments for this problem are known, but the remarkable prevention technique and the

possible solution to this pathological manifestation came from a Dutch microbiologist.

To solve the problem of cracks in concrete structures, researcher Hendrik Marius Jonkers observed that the human body, including the bone structure, can heal minor damage on its own. Through this inspiration, he came to a type of concrete that heals naturally: the self-healing bioconcrete. The use of this new material in new constructions and maintenance of existing structures will substantially reduce the costs of preserving a concrete structure. This work aims to outline the concepts of self-regeneration, reliability and accessibility, and how the bioconcrete can help mitigate this pathological manifestation, reducing the need for corrective maintenance.

^b ARMED CONCRETE AND PATHOLOGIES

Reinforced concrete is the most widely used construction material in the world. Low production costs, ease of execution, adaptation to any shape (providing architectural freedom), an excellent solution for obtaining a monolithic and hyper-static structure (better security reserves), resistance to atmospheric, thermal and up to mechanical resistance, virtually no maintenance and excellent durability are among the advantages of the materials. The disadvantages are high self-weight (of the order of 2.5 t/m³), low thermal protection and acoustic insulation, besides cracking of the traction region, which can, however, be controlled using traction armour [2].

The presence of cracks in the surface of reinforced concrete structures is one of the most common pathologies. It is a natural and inevitable phenomenon of

concrete predisposed to aggravate by the increasing search for the use of the resistance of its components and can manifest itself in each of the three phases of its life: plastic, hardening, and hardened concrete [3]. The most common causes of fissures are concrete dryness (poorly executed cure), retraction, temperature variation, environmental aggression, accidents, corrosion of the reinforcement, load, design errors, insufficient design details, execution errors, foundations settlement and structural loads (stress, compression, bending and shear).

The buildings in recent years have quality levels that can generally be considered unsatisfactory, reverting to problems passed on to users and to costs of recovery and maintenance whose magnitude is significant [3]. Dal Molin [4] carried out a comparative study in 1988 assessing the initial cost of a quality structure added its maintenance cost per year of service and, a low quality structure and lower initial amount. The conclusion is that the second structure requires higher maintenance costs than the first one, and that the total long-term price of the quality structure is lower than the long-term price of the low-quality one. The therapeutic methods of correction of the pathological manifestations include small punctual repairs, generalised restoration of the structure or reinforcement of pillars, beams, slabs or foundations [4].

The chance of limiting the frequency of pathologies in the constructions depends on all involved in the process –designers, manufacturers, constructors and users. In order to obtain a quality concrete, it is vital to take care of the choice of its materials, the determination of a trace that guarantees the strength and the desired durability, the homogenization of the mixture, its correct application and densification, until the proper “cure” - which will ensure the perfect hydration of the cement, besides correctly following the procedures of the technical standards [5].

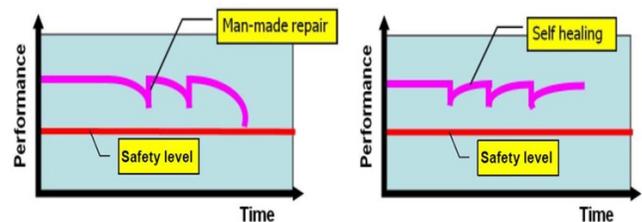
◦CONCRETE SELF-REGENERATION POTENTIAL

The lack of quality and the premature failure of the ageing infrastructure has a very high cost. Of the 600,000 bridges in the US, one in four needs to be modernised or repaired, about 10% are considered structurally deficient, and 10% are considered functionally obsolete. In the Netherlands, one-third of the annual budget for major civil engineering works is spent on inspection, monitoring, maintenance, modernisation, and repair, while in the UK repair and maintenance costs account for almost 45% [5].

From materials science, the focus to change this scenario lies in the proactive management of ageing structures. A possible way to achieve this would be by using self-regenerating materials which could extend the life of structures, resulting in reduced maintenance costs, less use of scarce resources, energy and need for transportation related to the manufacturing of materials.

The traditional way of making things better is to make them stronger and rigid, so material technology has been steadily moving in the direction of high and ultra-high strength. The project philosophy that focuses on damage prevention, using stronger materials has been called Damage Prevention Paradigm (DPP) [5], and claims that improving the resistance of the material will undoubtedly increase its ability to withstand loads and delay the moment the first damage occurs. However, once concrete cracking begins, the decay rate is relatively high, and manual repair is required.

On the other hand, there is the Damage Control Paradigm (DCP) [5], where a degree of damage is considered not only acceptable but also supposedly necessary to initiate an intrinsic mechanism of self-repair or self-healing. The material is designed so that small cracks or other damage mechanisms can occur to trigger an autonomous self-healing process – or produced without external influence – that will bring the material back to its original performance level as shown in Figure 1.



Damage Prevention Paradigm (DPP) - Manual Repair (left) and Damage Control Paradigm (DCP) - Self Regeneration (right) [5].

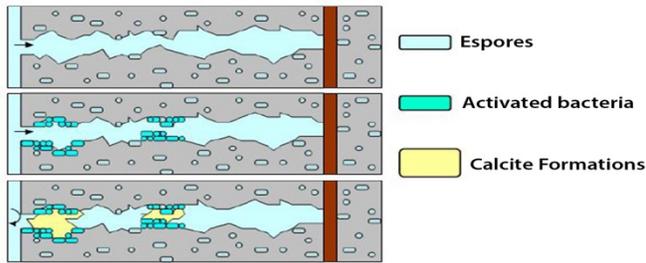
These two design paradigms are applicable for most materials, but not so well for reinforced concrete because it is brittle with microcracks even before the application of any load. Therefore, from a material science perspective, a concrete project will always be within the DCP, although the cracks are not considered damages but an intrinsic characteristic to the concrete and are acceptable provided that the criteria defined by technical norms are not exceeded. From a safety point of view, their presence is not a cause for concern. However, they are undesirable in terms of overall performance, especially durability, aesthetics, and functionality.

a. Biobased Auto Regeneration

One of the preconditions for self-regeneration of cracks in concrete is the transport of material into the crack. In a living organism, the transport of ingredients takes place through a vascular system. Plants and trees transport the elements through a network of pores. A porous material such as concrete also has a pore system through which the transport process is possible.

The expectation in this question is the concept of the bacterial-based crack repair mechanism (Fig. 2), in which after breaking, the bacteria present in the cracks of the fresh surface of the concrete, begins to multiply with the presence of water by precipitating minerals

such as calcium carbonate to close the fissures, protecting the steel from external chemical attack.



Bacteria Based Crack Repair Mechanism 0.

Jonkers [6] began his study of biologically based self-regenerative concrete with the search for a bacterium that could potentially act as a healing agent in concrete. The prerequisite for a successful repair process is the bacterium's survival at the high pH (around 12 to 13) of the concrete. It has been discovered that, from the microbiological point of view, the addition of bacteria to concrete or even concrete as an environment for a specific bacterium, is not uncommon. Although the concrete initially appears inhospitable due to its high alkalinity, it is known that natural systems are comparatively even drier environments in which bacteria can survive [7].

This desiccation and alkalinity resistant bacteria, when in environments that threaten their survival, usually form spores - a layer that protects bacteria, making them able to withstand high levels of stress induced mechanically and chemically. The bacteria that develop this layer have a very long life - the spores are known to last up to 200 years if kept in a dry state and at average temperatures [6].

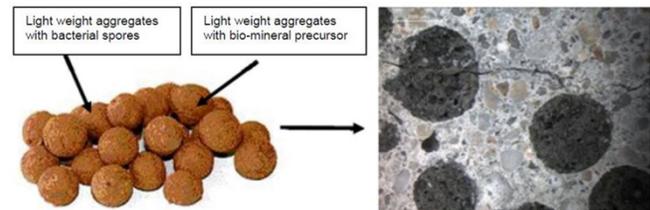
Bacteria to be used in the concrete as a self-repair agent should be work-appropriate, i.e., they should be capable of performing effective sealing of cracks in the long term, preferably for the entire life of a structure. The main mechanism of bacterial cure of cracks is that the bacteria themselves act primarily as a machine by turning a precursor compound into a suitable filler. Thus, to obtain a concrete having the actual self-curing characteristic, both the bacteria and the precursor compound must be incorporated into the matrix from time zero, i.e. from dosing.

Bacteria that can resist incorporation into concrete mortar exist in nature, appear to be related to a specific group of bacteria resistant to alkalinity and have an impressive characteristic, the ability to form spores - which are specific spherical and thick cells with a diameter of 1 μm and somehow homologous to plant seeds. They are cells in good condition, but inactive, that can withstand mechanical and chemical tensions and remain in a dry state for periods superior to 50 years [6].

But Jonkers [7] found that when bacterial spores were added directly to the concrete mix, their life span was limited to 1-2 months and attributed the decrease of

the life span to the continuous hydration of the cement, what results in spore diameters much smaller than bacterial spores of 1 μm . Another concern was whether the direct addition of biomineral precursor organic compounds to the mortar would not result in an undesirable loss of other concrete properties. Many organic binder precursor compounds, such as yeast extract, peptone, and calcium acetate, have resulted in a dramatic decrease in compressive strength. However, the addition of calcium lactate had promising results with a 10% increase in compressive strength compared to the control samples [6].

In order to increase the life span, the associated functionality of the bacteria in the concrete, the effect of bacterial spores and the simultaneously required biomineral organic compound precursor (calcium lactate), Jonkers [7] tested the immobilization of these components on porous expanded clay particles what has been found to have substantially prolonged the shelf life (Fig. 3). After six months of incorporation into the concrete, no loss of spore effectiveness was observed, suggesting its good long-term condition, as noted in the dry state, was maintained when fitted to the concrete [7].



Self-healing blend consisting of expanded clay particles (left) loaded with bacterial spores and mineral biological compound (calcium lactate). When incorporated into concrete (to the right), these particles represent reservoirs containing the cited mixture forming the healing agent 0.

b. Evidence of Bacterial Self Regeneration

Specimens prepared with part of the dense aggregate replaced by expanded clay particles of similar size loaded with the self-regenerating biochemical agent were used to test the bacterial healing of concrete cracks. The amount of light aggregate represents 50% of the total volume added. Control samples had a resembling aggregate composition, but with expanded clay particles not loaded with the biochemical agent.

The self-repair capability of pre-cracked concrete discs (10 cm in diameter, 1.5 cm thick), serrated from 56-day-cured concrete cylinders was tested by measuring the evolution of water transport through of the discs and later with the permeability test. A deformation-controlled division test produced the formation of cracks in concrete sample disks - 0,15 mm width running through the sample completely (Fig. 4, left). Both sets of control specimens and bacterial concrete (6 of each) were submerged in tap water at room temperature for two weeks, and the permeability was quantified by recording the percolation of tap water over 24 hours (Fig. 4, right).



Pre-cracking of the concrete slab and subsequent permeability testing 0.

A comparison between the samples revealed a significant difference in permeability. While the fissures of the six bacterial specimens were utterly sealed, resulting in no measurable permeability (percolation of 0 ml water/h), only two of the six control specimens appeared cured. The other four control samples presented permeability values (water percolation) between 0 and 2 ml/h.

Microscopic examination of cracks on the side exposed to water revealed that, in control samples as well as in bacterial specimens, precipitation of calcium carbonate-based minerals occurred. However, in the control samples, mainly near the edge of the fissure, leaving its main parts unhealed, while efficient and complete healing occurred in the bacterial ones with mineral precipitation predominantly within the crack (Fig. 5).



Images of pre-cracked control (A) and bacterial (B) concrete specimen before and after healing [6].

The overall conclusion of these researches was that the bi-component biochemical healing agent (composed of bacterial spores and an appropriate organic cement precursor compound) is a promising and therefore sustainable bio-based alternative for products strictly chemical or cement-based curing agents ([6], [7]).

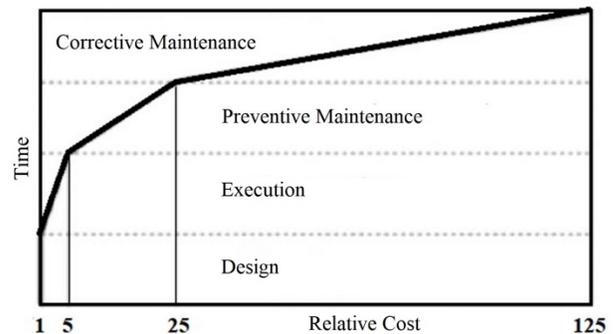
c. Economic Considerations

The production of self-regenerating materials generally exceeds the costs of traditional materials. What justifies this additional initial value is the reduction of inspection, maintenance and repair costs

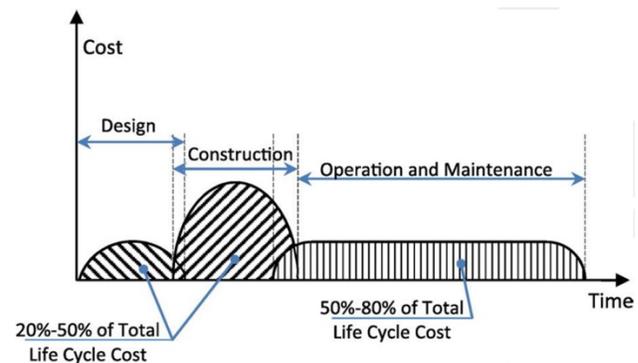
plus a longer lifespan, one of the desires of those who handle building constructions.

According to Gonçalves apud Souza and Ripper, budgets and tangible maintenance programs have their elaboration based on the notions of useful life and the deterioration curve of the materials used. Although the financial question has a significant influence on the decisions between preventive and corrective actions, the practice shows that the costs with the prevention do not excel to those of correction [8].

By dismembering the construction steps (Fig. 6), according to Gonçalves apud Helene it is possible to stipulate the impact of the cost of the actions in each one – from 1 in the Project Phase to 125 times higher when in the Corrective Maintenance Phase – demonstrating that maintenance can be more burdensome and laborious the longer the delay of its onset [8]. This impact is also evident when we analyse through the Life Cycle Cost of a structure (Fig. 7), whose concept encompasses not only the design and construction phase but also the operation and maintenance of the structure, that is, its entire period of existence [9].



The Law of Fives [7].



Life Cycle Cost [8]

In Fig. 8 a,b, the performances and costs of a low-quality (curve A) and high quality (curve B) structure, both of which designed according to the DPP, are compared. Figure 9 a,b shows the curves for a system designed according to the DCP. Although schematic, this comparison between the two systems illustrates that, depending on the lifetime required for the structure, the higher initial costs compensate. If the indirect expenses

of the repair work were considered - which is not the case in Figures 8b and 9b - the higher initial values are almost always justified [5].

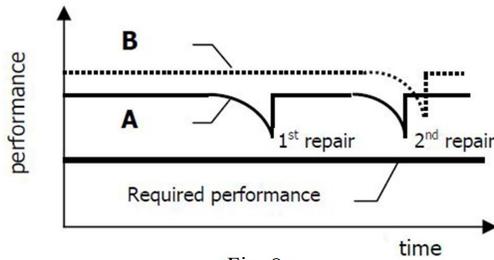


Fig. 8a

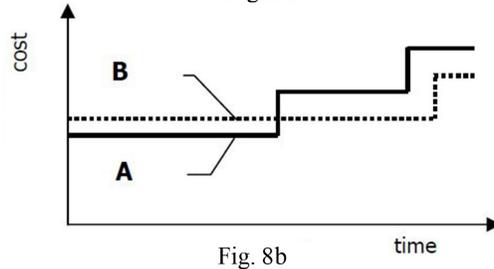


Fig. 8b

Performance (a) and cost (b) over time for low (A) and high (B) structures. Direct repair costs included. Interest and inflation not considered 0.

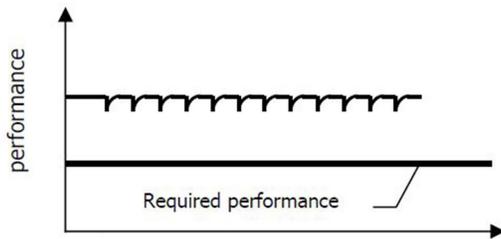


Fig. 9a

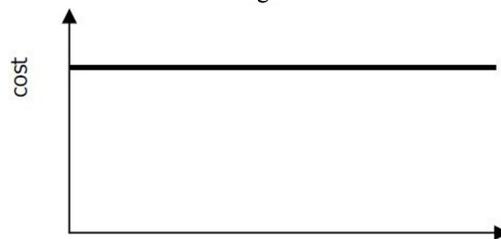


Fig. 9b

Performance (a) and cost (b) of a structure made with self-regenerating material (concrete) over time. Interest and inflation not considered 0.

Although Figure 9a suggests the performance of an ideal self-healing material, self-healing and potential self-repair will be limited, so it is unrealistic to expect that the use of such materials will make completely dispensable the inspections, monitoring, maintenance, and repair.

However, the construction industry may already benefit from incremental improvements in the self-regeneration capacity of a material due to the significant use of concrete, which makes small enhancements in material performance already result in substantial savings once that the period without maintenance can be extended and the time of repair can be delayed. Besides situations where degradation of a structure should be

avoided at all costs due to extremely high consequences in case of failure (e.g. radioactive waste leakage). In such cases, the use of a robust self-regenerating material may be the only solution, and the cost of the material will not be a limiting factor if its use is the only realistic solution.

FINAL CONSIDERATIONS

The fast growth of the world's population and expanding economies are two of the main reasons for the growing demand for buildings and infrastructure. Large amounts of raw materials and energy are needed to meet this demand and, as has been discussed previously, in most cases, concrete is the primary building material for these structures.

The lack of quality in the construction results in premature maintenance and repair or even dismantling and demolition of structures. Since even structures with proper quality suffer from the ageing of the materials from which they were built, projects with inherent potential for self-regeneration would extend the life of concrete structures and thus lessen the pressure on the need for new construction, as well as significant savings in maintenance and conservation costs.

In this work, it was possible to verify that the use of a type of concrete that can alone repair its cracks would have significant advantages in the construction of new structures. Also, understand how self-regenerating concrete is made, that the concepts adopted for the development of this material are indeed reliable and accessible and that, despite raising the initial cost of a structure, the final values are balanced or even lower due to the lesser need for maintenance and conservation and to extend its life. Therefore, the adoption of self-regenerating concrete is of great advantage for the Civil Construction Industry.

REFERENCES

- VILLANUEVA, Marina et al. Evaluation of the Maintenance Management Associated with the Performance of a Public Building. *Journal of Civil Engineering and Architecture* 11 (2017) 448-454 doi: 10.17265/1934-7359/2017.05.005
- PORTO, Thiago Bomjardim; FERNANDES, Danielle Stefane Gualberto. *Curso Básico de Concreto Armado: Conforme NBR 6119/2014*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- SILVA, Ben-Hur de Albuquerque; LÜKE, Washington. *Engenharia Civil 1: Perito Criminal Federal*. São Paulo: Saraiva, 2013.
- DAL MOLÍN, Denise Capanema Coitinho. *Fissuras em Estruturas de Concreto Armado: Análise de Manifestações Típicas e Levantamento de Casos Ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul*. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola de Engenharia, 1988.
- VAN BREUGEL, Klaas, 2012. Self-healing Material Concepts as Solution for Aging Infrastructure. 37th Conference on Our World in Concrete & Structures, Singapore, 2012.
- JONKERS Hendrik M. et al. Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete. *Ecological Engineering Journal*. Ed. 36, 2010, pp. 230-235.

- JONKERS, Hendrik M. Bacteria-based self-healing concrete. Heron Vol. 56. Special Edition: Self-healing Materials, 2011.
- GONÇALVES, Eduardo A. B. Estudo das patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações. Projeto de Graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola Politécnica, 2015.
- MACEDO, Carlindo. Apostila Controle de Facilidades para a Especialização em Planejamento, Gestão e Controle de Obra Cívica da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.
-

Project Based Learning as a Tool to fill Intercultural Gap in International Learning Environments

Luiz Filipe Rodrigues

ESTG

IPPortalegre

Portalegre, Portugal
luiz.rodrigues@ipportalegre.pt

Abstract—The role of higher education in the context of a global knowledge economy is seen as a critical factor in the development of human capital and for innovation, and fundamental for the success and sustainability of economic development. Therefore, the total population of students who move to other country to study continues to rise along with the exponential growth of higher-education student population worldwide. The hosting of a relatively large numbers of students from a different cultural, social, political and economic environment, and education system, will certainly poses an important challenge to the teaching-learning process. Internationalization poses important challenges and problems related to differences in the cultural, social, and economic backgrounds, other than linguistic problems, that affects directly the cognitive-learning process.

Project Based Learning (PjBL) is a student-centered pedagogy to organize the learning process where students are actively engaged in finding the ways by themselves. PjBL can benefit one's overall learning as well as one's cross-cultural understanding, and therefore help to fill the intercultural gap in an international learning environment.

However, since PjBL relays on intensive students-students and teacher-student interactions the referred cultural difficulties must be overcome before this pedagogical approach could be effective in the learning process.

Keywords—Higher education internationalization, Project Based Learning, Intercultural Learning Environments, Intercultural gap.

^a. INTERNATIONALIZATION OF HIGHER EDUCATION

As the 21st. century progresses, the international dimension of postsecondary education is becoming increasingly important and at the same time, more and more complex [1, 2]. Leading universities and Higher Education Institutions (HEI's) are developing mature internationalization agendas that incorporate student recruitment, research collaboration, and capacity building. For many governments, HEI's internationalization is becoming a strategic goal. In fact, the presence of international students, that was a barometer of university internationalization, is

nowadays a core part of student body for the world's leading universities [3].

The economic, political and social changes that the world is experiencing in this century is driving an increasingly global knowledge economy, with a generalized recognition that skills and human capital are the backbone of economic prosperity and social wellbeing. The role of higher education in this context is seen as a critical factor in the development of that capital and for innovation, and fundamental for the success and sustainability of economic development [4]. Therefore, the total population of students who move to other country to study continues to rise side-by-side with the exponential growth of higher-education student population worldwide, as can be seen in figure 1. According to the UNESCO Statistics Institute the global student population has grown from around 32,5 million in 1970 to ca. 178 million in 2010, being forecasted, for the year 2015, a population of 263 million students [4]. On the other hand, the number of students studying outside their own country, according to OECD, was around 2,1 million in 2000, ca. 5 million in 2014, and international student mobility is likely to reach 8 million students by 2025 [3].

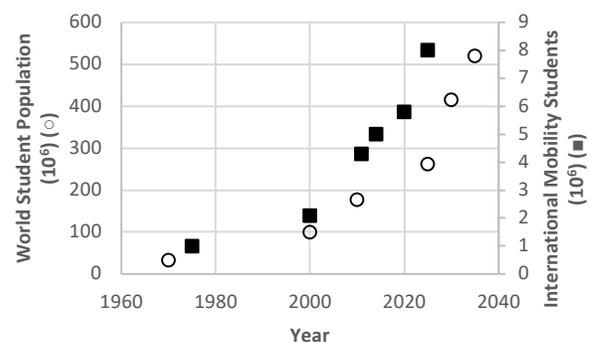


Fig.1. Evolution of higher-education student population and mobility student population worldwide in the last 30 years, and forecast for the next decades, from different sources. (Please, see text above)

In Europe internationalization of higher education is seen as unavoidable, due to globalization, interconnectivity, to the increasing flow of student mobility, and the growing use of information and Communication Technologies in the teaching system, asking for reformulations and monitoring strategies that explains the recent proliferation of internationalization strategies development [5].

The incorporation of the thematic of internationalization in strategic plans of HEI's has spread worldwide in the last two decades. Formulation of strategies and policies for the internationalization of HEI's is even seen as crucial for the definition of the sustainability of the institutions in Portugal [6]. Anacoreta [7] considers that the internationalisation of Portuguese HEI's is matter of survival, not a fad, emphasizing that the world is the job market for Portuguese students, and, on the other hand, world is the student market for Portuguese universities.

In Portugal, HEI's internationalization has been a development and innovation factor. Internationalization of Portuguese HEI's happens mainly through students' mobility programs, and cooperation with foreigner institutions in research projects. Internationalization of Portuguese universities as education institutions at the degree level is very incipient, with the exception for the recruitment of students from the former colonies [8]. Portugal is, indeed, the first choice for majority of students coming from the former Portuguese colonies [9].

But internationalization of Portuguese HEI's is indeed increasing. Data of the year 2015/2016 show, in comparison with the previous year, a 17.33 % increase in the population of international students in degree mobility, and an increase of 9.31 % in the mobility programs for credits [9].

Recently, trying to help Portuguese HEI's in its internationalization process a Conseil for the Internationalization of the Portuguese Higher Education (CIESP) was created [9]. One of the strategic goals pointed by the government to the Portuguese HEIs in the preamble of the CIESP creation resolution at 2nd. July 2015 is the duplication of international student population by 2020.

In our institution, the Polytechnical Institute of Portalegre, Portugal (IPPortalegre), internationalization is also growing, particularly through the European Erasmus Program and special mobility programs for credits. Till now the growth has been relatively slow, compared to other Portuguese and international HEI's. But in the next few years a quick growth is expected due to the arrival of hundreds of students, namely, coming from Bissau Guinea. Some dozens of these students is

expected to attend the degree in Biofuels Production Technologies (BPT).

The hosting of a relatively large numbers of students from a different cultural, social, political and economic environment, and education system, will certainly poses an important challenge to the teaching-learning process. This is particularly important for the implementation of the Project Based Learning (PjBL) pedagogical approach, as it is practised in BPT degree course, implying more active and frequent interactions between students in an international environment. The reflections below is a contribution for the discussion that seems to be imperative now.

^bPEDAGOGICAL CHALLENGES OF INTERNATIONALISATION OF HIGHER EDUCATION

Internationalization poses important challenges and problems other than organizational, political, and financial barriers, particularly those of pedagogical-cultural nature, directly related to the learning process itself.

As stated by Ausubel, cited by Thijs [10], "the most single factor influencing learning is what the learner already knows." International student already knows lot of things, from previous education, not only of scientific nature and others, learnt at the school system from the original country. He or she also possesses other knowledge acquired from prior socialization at home, at the birth city or village, etc.

However, in addition to probable linguistic difficulties, international students, as native students do, may also display some misconceptions and other problems framed by the learning, social, political or economic environments they come from, that may hinder, more or less, the learning ability in the host country. If it is true that the learning environment is acutely sensitive to the individual differences among the learners in it, including their prior knowledge [11], then HEI's must pay high attention to aspects related to cultural differences in the process of internationalization. Since, students differ in a myriad way regarding their abilities, competencies, motivations and emotions, but they differ too in their linguistic, cultural and social backgrounds. Obviously, these differences may easily appear in an international learning environment.

As stated before, social, political and the economic environment in which the learner studied and socialized may influence the cognitive process. According to Hofstede, cited by Maken and de Graaf [12], behaviour, attitude, values, norms of individual are rooted deeply

in the culture, from which they originate. Hofstede [12] even argues that interactions and communication between student-teacher and student-student are deeply rooted in their belonging culture. It could be problematic during the learning process in such international settings, and particularly, in the PjBL processes, where those type of interactions are more frequent.

Political and economic situation of the country where students come from may be various, and may play a significant role in the cognition process. For instance, Prophet [13] referred to geographic and demographic problems in education, particularly in science teaching, that many developing countries face, in terms of accommodation, equipment, and availability of specialized teachers. But the author also pointed out a “more basic yet complex problem” existing in Southern African countries, but certainly in other African countries and other non-western cultures, with direct implication to the learning process of children and young: the problems arising of learning in a second language, and the dissonance between traditional beliefs, attitudes and values and those of modern science.

Indeed, in many countries, for instance the former African Portuguese colonies, pupils and students speak at home a local language (the first language). A western language (the second language) of the former colonizing country is used at schools as instruction language. For example, a study conducted in Ghana [13] concluded that when the instruction language is foreign, children may mimic adult concepts without any appreciable contribution to their own conceptual growth. “If they cannot express their ideas or discuss them with their peers, conceptual growth may be stalled or impaired” [13].

Economical-social context of the country where the students come from may also influence the efficacy of teaching-learning process. For instance, when a teacher must choose an example to illustrate some concept or technology during classes. The illustrative technology or objects may be common or even universal in the hosting country, but rare or strange in the student’s origin country.

All these aspects must be considered to develop an appropriate “ecology” for the learning process in an international-intercultural environment, particularly in PjBL contexts.

◦ WHY IS PjBL THE MOST ADEQUATE METHODOLOGY TO BRIDGE INTERCULTURAL GAP?

The changing context of engineering has put pressure on the HEI’s to prepare engineers for the drastically different workplace of the future. They must prepare engineering students for the increasing complexity of their professional lives and help them acquire skills of collaboration, management and innovation, social and environmental awareness, as well as awareness of knowledge creation [14].

Indeed, in the global knowledge society, learning is not only knowledge acquisition or participation in established social practice. It is also a process of creating new knowledge collaboratively when addressing complex problems which involve interdisciplinary knowledge and innovative thinking [14].

Project Based Learning (PjBL) is a student-centered pedagogy to organize the learning process where students are actively engaged in finding the ways by themselves. In a PjBL context students majorly work in collaborative groups [12].

The success of PBL is illustrated by the fact that PjBL is practiced in different ways in different parts of the world with different names [12; 15]. In PjBL settings, the essential components of the collaborative learning are social interactions and collaboration among the group members, where the peers interact with each other in a learning community [12].

PjBL is a constructivist-based pedagogical approach designed to guarantee more learning engagement of students using projects as vehicles to promote students’ motivation and to provide a means for demonstrating and explaining what was learned. Projects are complex tasks to solve a real-world problem that triggers the learning process. Students are asked to challenge, to question, to design and to investigate. Projects also give students the opportunity to work relatively autonomously and collaboratively over extended periods of time and to develop realistic products or presentations [16].

Evidence suggested that PjBL has a positive effect on students’ content knowledge, the development of skills such as collaboration, critical thinking, and problem solving. In addition, students involved in PBL activities maintain higher learning motivation and engagement [16].

Constructivism considers that students’ conceptions are the result of a serious effort on the part of the

individual to make sense out of a situation [17, 18]. In trying to make sense, the individual utilises all his/her knowledge, i.e. past experience, book learning, learning from society (elders, the media, folk wisdom, cultural legends, etc.) and from direct experience of the environment. The learner thus brings all relevant knowledge about a fact or event to a learning situation involving that factor event [17]. The dynamic interaction between an individual and the facts and events of the world plus the knowledge acquired from cultural, social or philosophical sources is illustrated in figure 2.

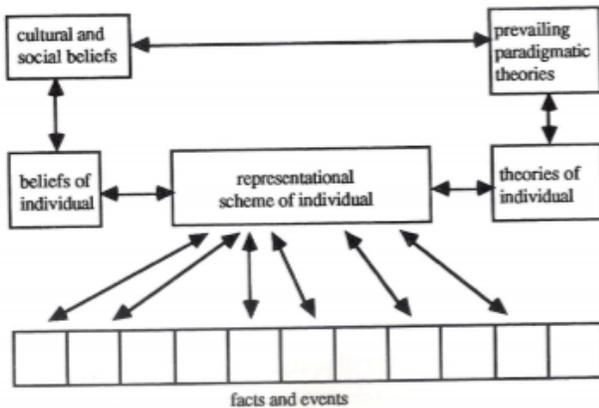


Fig. 2. Illustration of the relationships between representational schemes and beliefs, theories and worldly facts and events [17].

In a new context of engineering education introduced by the Bolonha Declaration, with reduced contact hours between teacher and students, due to reduced duration of degree courses from 5 to 3 years, PjBL seems to make great sense, particularly in an international and multicultural context. In fact, the collaborative aspect of PjBL allow additional teacher-students and students-students interactions, compared to conventional methodologies. This may help to reinforce intercultural contacts and, not least, the training of English or the language of the hosting country, very important aspects for the learning process and real life in a globalized world [19].

Shadiev [16] suggested that PjBL can benefit one's overall learning as well as one's crosscultural understanding, because PjBL gives students the power to learn on their own terms and the opportunity to access various perspectives. Students from different parts of the world who engage in PjBL activities may increase their awareness of cultural differences through active participation and communication. When students work with partners who are different from themselves, they learn how to resolve misunderstandings and overcome cultural barriers [16].

⁴CONTEXT OF APPLICATION OF PjBL, EXPERIENCE AND SOME PERCEPTIONS IN THE BPT DEGREE CORSE

Project Based Learning (PjBL) has been applied in the degree course in Biofuels Production Technologies (BPT) since its start in 2014. The application is not generalized, it was implemented in the disciplines of "Transference Unit" (TU) that exists in 5 of the 6 semesters of the course. These units were thought to integrate knowledge acquired in the others curricular units taught in the corresponding semester trough the development of small projects. Each TU is worth 5 units in the ECTS (European Credit Transfer System), adding 25 in a total of 180 ECTS units for the complete degree.

Experience of implementation of PjBL approach in the Biofuels Production Technologies (BPT) course at the Polytechnical Institute of Portalegre (IPPortalegre) was reported elsewhere [20-22]. Some positive effects of PjBL methodology introduction was perceived as: i) increase of student's motivation for learning; ii) increase of self confidence and of environmental and social awareness of the issues related to fuel production and usage. However some handicaps have also been detected [21], that have been pointed out by some other authors, namely: i) inexperience of teacher team in the selection and following of PjBL projects; ii) lack of experience of students in autonomous and team work; iii) weak mastering of the English language by the students, necessary for the searching of information in books, internet, among others, and iv) deficient student-student communication, being the teacher-student interaction mostly preferred and used.

The experience with international students in the BPT course began also almost from its start. Students arrive trough the Erasmus European program of student exchange (mainly from Spain and Poland) or other come via mobility program for credits (mainly from Brazil). Lately students from Bissau Guinea are arriving for a degree mobility, in the context of a cooperation agreement.

The implementation of PjBL, in a such relatively more complex intercultural context, may certainly help the learning process in different aspects. Particularly, it will help to improve the spoken and written English, in a CLIL (Content Language Integrated Learning) like context, and to overcome some misconceptions and learning difficulties, trough inter peer learning. This aspects of inter peer learning is very important, since we have observed that students have some inhibition in showing their learning difficulties. And due to reduced

contact time teachers may fail to detect any misconceptions that students may have. In PjBL the teacher-students interaction is relatively more frequent, but the student-student interaction happens almost continuously.

But some problems may also be expected in a multicultural learning environment, that may appear due to cultural differences, including those of the previous education systems, deficient mastering of the communication language, and scientific misconceptions, preconceptions among others [12, 23].

Kolmos, Du, Holgaard and Jensen [23] summarized from their experience the main barriers for PjBL implementation in international learning environment into 3 categories: i) unfamiliarity with project work and/or different understanding of teamwork; ii) lack of collaboration between national and foreigner students and iii) mismatch of expectation between teaching staff and students. For example, they refer that Danish teaching staff expects foreign students to be active and independent in the learning process, while foreign students tend to expect more transfer of knowledge from Danish teaching staff. They attributed these barriers to cultural factors such as i) language problems (English may be a second language for all team members, including teaching staff members which brings about lots of difficulties in both daily communication and professional discussion. The problem of using English as discussion or searching language in PBL context seems to be quite recurrent [21, 23]!), ii) socio-economic background factors, such as ethnicity, race, religion, gender, age, etc., also influence people's ways of thinking, behaving and communicating; iii) differences in educational tradition and systems, for example in terms of the perception of learning, study form, teacher-student relationship, examination methods etc, have influence in people's conduct in the educational setting and iv) difficulty for newcomers to understand the benefit of collaborative learning, even that group work can be an efficient way of learning [23].

Markus and Kitayama, cited by Pedersen [25], refers that PjBL was built on western culture and western values, stating that "people in different cultures have strikingly different construals of the self, of others, and of the independence of the two. These construals can influence, and in many cases determine, the very nature of individual experience, including cognition, emotion, and motivation".

As already pointed out by Hofstede, cited by Maken and Graaf [12], the major challenge in an intercultural student group is that the members' behaviour on interaction and collaboration is based on the cultural background. Therefore, collaboration and communication are particularly important for a student in a collaborative learning experience. Cultural differences could pose a challenge and impact in the collaborative learning process [12].

CONCLUSIONS

Internationalization of higher education is a process in rapid evolution and is one of the major forces impacting and shaping higher education as it evolves to meet the challenges of the 21st century. The exponential increasing in the mobility of international students has created multicultural learning environments that poses important challenges to the cognitive-learning process.

The collaborative feature of Project-Based Learning approach may be helpful in creating the necessary environment for an international learning context, helping to fill the intercultural gap that may hinder the acquisition of knowledge.

However, teachers that engage in the PjBL approach must be attentive to the effects of cultural and other background differences to avoid contamination and blocking of the learning process by those fundamental aspects.

REFERENCES

- J. Knight, Higher Education in Turmoil – The Changing World of Internationalization, Sense Publishers, Rotterdam, 2008, page 1.
- J. Kniht, "Internationalization of education", *elButlletí*, 75 (2014), accessed online at http://www.aqu.cat/elButlletí/butlletí75/articles1_en.html#_XVfuSfZFzIW on 10th August 2019.
- University of Oxford, "International Trends in Higher Education 2015", The University of Oxford International Strategy Office, 2015.
- J.P. Barbosa, "Os Desafios da Internacionalização do Ensino Superior", Universidade Lusófona do Porto, 2019, accessed online at <https://www.ulp.pt/noticias/desafios-internacionalizacao-ensino-superior>, on the 26th July 2019.
- E. Colucci., A.S. Costa, and R. SILVA, "Estratégias de Internacionalização na Europa e no Brasil e o impacto do programa Ciência sem Fronteiras", Projeto ALISIOS, Documento de Trabalho N° 2, Erasmus Mundus, 2015.
- Universidade Aberta, "Política de Internacionalização", Gabinete de Comunicação e Relações Internacionais, 2018 (accessed online at https://portal.uab.pt/wp-content/uploads/2018/03/ebook_Politica-de-Internacionalizacao-UAb.pdf, on the 26th July 2019.
- L. Anacoreta, "O que falta para internacionalizar as universidades portuguesas?", O Jornal Económico, 12 de novembro de 2018 accessed online at <https://jornaleconomico.sapo.pt/noticias/o-que-falta-para-internacionalizar-as-universidades-portuguesas-376550>, on the 26th July 2019).
- E.J.F. Figueiredo, "A Internacionalização das Universidades – A Internacionalização como fator de desenvolvimento e inovação", 2018, accessed online at <https://www.ulusofona.pt/cronicas/internacionalizacao-universidades>, on 26th July 2019.
- D. Gasic, "Internacionalização do Ensino Superior em Portugal através dos programas Europeus de Mobilidade – Estudo de caso Faculdade de

- Letras da Universidade de Lisboa”, Relatório de Estágio do Mestrado em Cultura e Sociedade na Europa, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 2016, pp. 45-49
- G.D. Thijs, “Prologue” in Proceedings of Regional Conference on Learning Difficulties and Teaching Strategies in Secondary School Science and Mathematics, Botswana, December 1987, edited by Thijs, G.D., Boer, H.H., Macfarlane, I.G., and Stoll, C.J., Centre for Development Cooperation Services, Free University Amsterdam, 1988, page 6
- OECD (2017), The OECD Handbook for Innovative Learning Environments, OECD, Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/9789264277274-en>
- T.H. Maken and E. de GRAAF, “Learning Experiences of Engineering Students related to Cultural differences in group Work” SEFI 40th. Annual Conference, Engineering Education Research, 23 – 26 September 2012, Thessaloniki, Greece
- R. Prophet, “Science, Language and Culture” in Proceedings of Regional Conference on Learning Difficulties and Teaching Strategies in Secondary School Science and Mathematics, Botswana, December 1987, edited by Thijs, G.D., Boer, H.H., Macfarlane, I.G., and Stoll, C.J., Centre for Development Cooperation Services, Free University Amsterdam, 1988, page 131
- J.D. Nielsen, X.Y. Du, and A. Kolmos, A., “Innovative Application of a New PBL Model to Interdisciplinary and Intercultural Projects”, *The International Journal of Electrical Engineering & Education*, **47** (2010), pp. 174-188.
- S. Palmer and W. Hall, “An Evaluation of a Project-Based Learning Initiative in Engineering Education”, *European Journal of Engineering Education*, **36** (2011), pp. 357-365.
- R. Shadiev, W.-Y. Hwang and Y.-M. Huang, “A pilot study: Facilitating cross-cultural understanding with project-based collaborative learning in an online environment”, *Australasian Journal of Educational Technology*, **31**(2015), pp. 123-139.
- M.G. A’B. Hewson, “Perspectives of Research on Learning Difficulties and Methods of Identifying Students’ Conceptions”, in *Proceedings of Regional Conference on Learning Difficulties and Teaching Strategies in Secondary School Science and Mathematics*, Botswana, December 1987, edited by Thijs, G.D., Boer, H.H., Macfarlane, I.G., and Stoll, C.J., Centre for Development Cooperation Services, Free University Amsterdam, 1988, page 32.
- D. Efstratia, “Experiential Education through Project Based Learning”, *Procedia – Social and Behavioral Science*, **152** (2014), pp. 1256-1260.
- T. Voronchenko, T. KLIMENKO, and I. KOSTINA, “Learning to Live In A Global World: Project-Based Learning in Multicultural Student Groups as a Pedagogy of Tolerance Strategy”, *Procedia – Social and Behavioral Science*, **191** (2015), pp. 1489-1495.
- L.F. Rodrigues, P.S.D. Brito and A.C. Gomes, “Application of the Project Based Learning Approach to the Learning of Biofuels Production Technologies”, *International Congress on Education Innovation and Learning Technologies*, 23th. - 25th. July 2014, Barcelona (Poster ED-049).
- L.F. Rodrigues, P.S.D. Brito, R.P. Valente, N.C.M. Farinha and A.C. GOMES, “Aprendizagem Baseada em Projetos num Ciclo de Estudos de Tecnologias de Produção de Biocombustíveis”, Coleção Estratégias de Ensino e Sucesso Académico: Boas Práticas no Ensino Superior, Coordenação de Susana Gonçalves, Coimbra, 2015, pp. 209-236.
- L.F. Rodrigues, R.P. Valente, A. André, A. Júnior, N. Pereira, P. Milhinho, “Exemplo da Aplicação da Abordagem PBL na Aprendizagem da Biodigestão Anaeróbia de Resíduos Agrícolas”, *V Seminário de I&DT novos desafios... novas agendas de investigação*, C3i, novembro de 2016, Portalegre
- A. Kolmos, X. Du, J.E. Holgaard, L.P. Jensen, “Facilitation in a PBL environment”, Publication for Centre for Engineering Education Research and Development, 2008 online publikation
- M.C. Gwee, “Globalization of Problem-Based Learning: cross-cultural implications”, *Kaohsiung J. Med. Sci.*, **28** (2008), pp. 14-22
- J. Pederson, “Intercultural relations between engineering students in Denmark, China and Brazil”, Jan Pedersen, Eagle Eye Consulting, Lulu.com, 2013, pp. 23-24.

Co-gasification of sewage sludge mixed with waste wood in different proportions

Alves, Calado, Panizio, Santos, Gonçalves, Monteiro, Brito

O. E. R. Alves
VALORIZA - Research Center for
Endogenous Resource Valorization
Polytechnic Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal
octavio.alves@ipportalegre.pt

M. M. B. P. Gonçalves
MEtRICs -Mechanical Engineering and
Resource Sustainability Center
Universidade NOVA de Lisboa
Lisbon, Portugal
mmpg@fct.unl.pt

L. F. C. Calado
VALORIZA - Research Center for
Endogenous Resource Valorization
Polytechnic Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal
luis.calado@ipportalegre.pt

E. L. M. Monteiro
VALORIZA - Research Center for
Endogenous Resource Valorization
Polytechnic Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal
eliseu@ipportalegre.pt

R. M. Panizio
VALORIZA - Research Center for
Endogenous Resource Valorization
**and 12.5 wt% SS, generating a
product gas yield of 2.9 m³/kg waste
with a calorific value of 5.2 MJ/m³,
and a tar production of 4.7 g/kg waste.**

Keywords—*co-gasification, sewage
sludge, waste wood, waste valorisation*

INTRODUCTION

Sewage sludge (SS) generated from physical and biological treatments in wastewater treatment plants is produced in large quantities and, if not correctly managed, may pose harmful effects for the environment and public health due to the presence of pathogenic agents, odour emissions and toxic compounds [1]. The production in Portugal achieved 9.8×10^5 ton and it is expected to increase as a consequence of the development of societies, especially in urban areas [2, 3]. Conventional treatments like landfilling, incineration and application as fertilisers have been largely applied to manage SS, but the more stringent legislation that has been created, the adverse effects for the environment and the emission of gaseous pollutants have discouraged the adoption of these solutions and which over

Polytechnic Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal
rpanizio@ipportalegre.pt

P. S. D. Brito
VALORIZA - Research Center for
Endogenous Resource Valorization
Polytechnic Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal
pbrito@ipportalegre.pt

S. M. Santos
VALORIZA - Research Center for
Endogenous Resource Valorization
Polytechnic Institute of Portalegre
Portalegre, Portugal
margarida.santos@ipportalegre.pt

time may be more costly [2, 4]. Therefore, other treatment alternatives must be defined with the purpose of valuing these residues and simultaneously minimising the negative impacts caused in the environment.

SS contains a high organic load giving them good calorific properties (11-23 MJ/kg db), thus with an interesting potential to be converted into useful energy [1]. Recent waste-to-energy technologies like gasification can be used for this purpose, reducing the consumption of fossil fuels and production of pollutant gases, and guaranteeing a continuous supply of energy to households that is not dependent on climatic factors, unlike what happens with other renewable sources like solar, hydric and wind [5].

In this sense, gasification of SS consists in a thermal conversion of this waste into a syngas rich in CO and H₂, with good fuel properties to be converted into energy and calorific values in the range of 1.3-5.6 MJ/m³ [1, 6]. The process occurs typically at 700-900 °C with lower amounts of oxygen

Abstract—Gasification is currently a promising technology that enables the conversion of wastes into a valuable syngas for energy production, achieving better efficiencies and lower environmental impacts when compared with traditional treatments like landfilling or incineration. However, gasification of individual wastes may pose some operational problems that can be minimised when adopting a co-gasification strategy, i.e. by mixing them with other typologies of wastes in appropriate proportions.

In this work, co-gasification experiments with mixtures in various proportions of waste wood (WW) and sewage sludge (SS) were performed in a downdraft gasifier, with the aim of evaluating the process performance and to analyse the properties of product gas and chars obtained at the end.

Results indicated that the addition of SS improved the energy conversion efficiency and product gas yield, and minimised the formation of tars. On the other hand, char production was greater and formation of agglomerations inside the reactor was more intense when the proportion of SS increased. The optimal mixture for the process contained 87.5 wt% WW

when compared with combustion, therefore generating lower amounts of oxygenated pollutants like SO_x , NO_x and polycyclic aromatic hydrocarbons. In addition, gasification may achieve better performances in terms of energy conversion when compared with combustion [5]. There are various types of reactors available for waste gasification, and from which the downdraft ones may be highlighted. In this configuration, both waste and product gas flow downwards in the same direction, with the gas exiting at the bottom of the reactor. Downdraft gasifiers are known to create lower amounts of tars, requiring shorter start-up times and generating higher carbon-conversion efficiencies [7].

Because sewage sludge contains high moisture and ash contents (c.a. 80 wt% wb and 44 wt% db, respectively) affecting negatively the efficiency of the process, co-gasification with other residues has attracted a greater attention [3]. Some scientific works proposed the mixture with materials like wood and acid hydrolysis residues from ethanol production, achieving interesting results for the syngas and process efficiency when the proportion of sludge varied among 20-60 wt% [3, 6, 8, 9]. However, the literature is scarce regarding the co-gasification of SS and waste wood (WW) in downdraft gasifiers, with the purpose of evaluating the behaviour of the process and the final products generated.

This work aims to evaluate the gas properties and process efficiency resulting from the co-gasification of mixtures of SS and WW mainly from construction and demolition wastes (CDW), through the variation of their relative proportions. In addition, chars originated from the process were also examined in order to

establish possible pathways for their valorisation.

MATERIALS AND METHODS

a. Materials

Dewatered SS was provided by a municipal wastewater treatment plant, and was submitted to a drying stage in a rotary drum dryer, followed by a solar drying during around 5 days. This allowed to reduce the moisture content to acceptable levels for the gasifier (<15 wt% wb) [10]. Then, it was pelletized (Kahl 14-175) to obtain pellets with dimensions of 20×5 mm.

WW (mainly from CDW) was supplied by a waste management company, and was sieved and screened to get chips with c.a. 40 mm, free of strange inert materials. Illustrations of wastes that were prepared are in Fig. 1.

Posteriorly, three mixtures containing these wastes were prepared and homogenised for the final gasification tests: M1 (100 wt% WW), M2 (87.5 wt% WW + 12.5 wt% SS) and M3 (75 wt% WW + 25 wt% SS).

b. Gasification experiments and performance evaluation

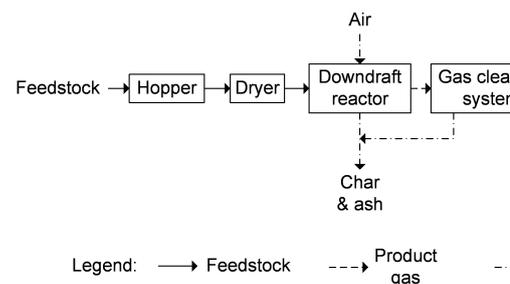
Gasification tests occurred in a commercial downdraft gasifier from All Power Labs, model PP20, incorporating a cylindrical reactor with overall dimensions of 0.5 m height and 0.38 m diameter. A simple schematic of this gasifier is presented in Fig. 2.

The feedstock is firstly introduced and stored in the hopper and, through the action of an auger mechanism, it is displaced to be dried and injected in the reactor. Inlet air is pre-heated by recirculating around the hot walls of the reactor, before its entrance in the oxidation zone of the reactor. Chars accumulated at the base are periodically transferred to an auxiliary can, while the product gas moves to the cleaning system

composed by a cyclone and a filter to retain particulates and tars.



Wastes for gasification tests: (a) pelletized SS and (b) WW chips.



Block diagram for the downdraft gasifier used for the tests.

On the way between the cyclone and the filter, the gas is diverted to the drier in order to lower its temperature (to prevent premature disintegration of the filter), and to transfer heat for the feedstock drying stage. After exiting the filter, the gas goes to the flare to be burnt.

Circulation of gases along the unit is performed by vacuum pumps located right before the flare.

For each mixture that was tested, and when the temperature in the oxidation zone of the reactor stabilised at 700-800 °C, two product gas samples were collected at the exit of the reactor into tedlar bags for further analysis. Chars and tars were collected and quantified after the unit was cold.

Evaluation of gasification efficiency was carried out through the calculation of equivalence ratio (ER), product gas yield and cold-gas efficiency (CGE). ER was determined by the ratio of air flow entering the reactor, and the air flow required for the stoichiometric

combustion of feedstock. By its turn, the volumetric air flow at the entrance of the reactor (\dot{V}_{air} , in m^3/s) was estimated through (1) [11].

$$\dot{V}_{air} = 6.7242 \times 10^{-4} \times p_{oxid}^{0.5227} \quad (1)$$

p_{oxid} is the average vacuum pressure (in H_2O) measured at the oxidation zone of the reactor, where the air enters to participate in the gasification reactions.

Product gas yield (Y_{gas} , in m^3/kg waste) was calculated considering the conservation of nitrogen mass among the inbound products (waste and air) and the outbound gas. The expression used is in (2).

$$Y_{gas} = \frac{\dot{m}_{waste} \times x_{N_{waste}} + \dot{m}_{air} \times 0.7547}{\dot{m}_{waste} \times x_{N_{2_{gas}}} \times \rho_{gas}} \quad (2)$$

\dot{m}_{waste} and \dot{m}_{air} are the mass flows of waste and inlet air, respectively (kg/s), $x_{N_{waste}}$ and $x_{N_{2_{gas}}}$ are the mass fractions of nitrogen present in the waste and in the gas, and ρ_{gas} is the mass density of the gas (kg/m^3).

Finally, the CGE (%) was determined according to (3).

$$CGE = \frac{LHV_{gas} \times \dot{m}_{gas}}{LHV_{waste} \times \dot{m}_{waste}} \quad (3)$$

\dot{m}_{waste} and \dot{m}_{gas} are the mass flows of waste and gas (kg/s), while LHV_{waste} and LHV_{gas} are the corresponding lower heating values (LHV) of waste and gas (MJ/kg).

c. Analysis of feedstocks and products

Raw samples of WW and SS were examined to determine contents of moisture, volatile matter and ash according to standards ASTM E949-88, E897-88 and E830-87, respectively; fixed carbon was calculated by difference. Ultimate analysis was carried out in a ThermoFisher

Scientific Flash 2000 CHNS-O analyser, while higher heating value (HHV) was measured in a calorimetric bomb IKA C200. Chlorine concentrations and mineral composition of ashes from both residues were determined by X-ray fluorescence analysis (Thermo Scientific Niton XL 3T GoldD+).

Product gas samples were analysed to evaluate their composition by gas chromatography (Varian 450-GC), equipped with two thermal conductivity detectors and two capillary columns (Ultimetal 1.5 \times 0.002 m and 1 \times 0.002 m). The LHV of gas samples (LHV_{gas} , MJ/ m^3) and the corresponding density (ρ_{gas} , kg/m^3) were calculated according to (4) and (5), respectively [10].

$$LHV_{gas} = \sum_{i=1}^n (LHV_i \times x_{vol i}) \quad (4)$$

$$\rho_{gas} = \sum_{i=1}^n (\rho_i \times x_{vol i}) \quad (5)$$

LHV_i and ρ_i are the LHV (in MJ/ m^3) and the density (in kg/m^3) of gas compound i detected in the product gas, and $x_{vol i}$ is the associated volumetric fraction. All gas measurements were determined by the average of the two samples that were collected after the reactor.

Characterisation of chars was done by determining their chlorine contents and inorganic composition through an X-ray fluorescence analysis (Thermo Scientific Niton XL 3T GoldD+).

RESULTS AND DISCUSSION

a. Characterisation of waste materials

Results for the analysis of raw wastes WW and SS are presented in Table I. SS contains a huge amount of moisture (87 wt% wb) that has to be removed before gasification, since the process admits materials with a maximum content of 15 wt% wb.

Conversely, WW contains lower levels of moisture (11 wt% wb) that enables its direct use for gasification.

SS is composed by a lower concentration of volatile matter and a significant amount of ash (69 and 23 wt% db, respectively), when compared with WW. Therefore, high amounts of ash as by-product are expected to be generated after the tests, and which would imply other post-treatments and a possible reduction in gasification efficiency. Nitrogen levels were also relatively high (12 wt% daf) due to the greater concentration of proteins [1]. Although SS has lower H/C and O/C ratios (0.15 and 0.45, respectively) that are commonly observed in materials with high calorific values [12], the hi-

ANALYSIS OF RAW WASTE MATERIALS

Parameter	Waste		
	SS	WW	
Proximate analysis	Moisture (wt% wb)	86.7	10.9
	Volatile matter (wt% db)	69.1	88.0
	Fixed carbon (wt% db)	7.9	9.3
	Ash (wt% db)	23.0	2.7
Ultimate analysis (wt% daf)	N	11.6	2.1
	C	55.3	47.1
	H	8.4	6.0
	S	0.0	0.0
	O	24.7	44.9
Chlorine (wt% db)		0.1	0.3
HHV (MJ/kg db)		18.8	18.7
Mineral composition of ash (wt% db)	SiO ₂	5.2	8.1
	Fe ₂ O ₃	23.2	5.5
	CaO	8.6	26.5
	K ₂ O	1.7	4.1

gher amount of ash limits its potential to produce energy; this fact may explain the reason why both wastes exhibit similar

HHV's (19 MJ/kg db). All of these results are corroborated by existing literature [3, 13].

Corrosiveness of downstream equipment may not be a severe issue caused by the use of these wastes since the presence of chlorine is almost negligible (≤ 0.3 wt% db). Regarding the mineral composition of ash, the presence of Fe and Ca was relevant in both residues (>23 wt% db) indicating a strong trend for the occurrence of ash fusion and formation of agglomerations inside the reactor [14]. This evidence is of particular concern in the situation of SS because of the high proportion of ash, as was already stated.

Based on these results, co-gasification of SS with WW may be a viable solution to compensate the weaknesses of both residues: on one hand, the volatile matter present in WW may increase the gas production and, on the other hand, ash production and agglomeration can be reduced instead of using SS alone.

b. Evaluation of gasification performance

Table II exhibits the results for the gasification performance indicators for all of the three mixtures (M1, M2 and M3), namely the ER, mass flow of waste, CGE, and product yields of gas, chars and tars.

The addition of SS promoted an increase of product gas yield (+43 %) and the achievement of greater CGE's (around 90 %), as well as a considerable tar abatement (-84 %) that may prevent problems in downstream equipment. The rise of both gas yield and CGE was justified by the higher results observed for ER, which encouraged the formation of more gas at the exit. It appears that more air was needed for gasification in order to compensate the reduction of volatile matter of mixtures that

included SS. The work of Chen et al. [8] also reported similar trends during their co-gasification experiments.

CGE values were relatively higher for mixtures M2 and M3 (c.a. 90 %) when compared with other works, which stated results around 70 % [3]. This may suggest a possible overestimation of air flows calculated through correlation (1), and which contributed for the unexpected higher efficiencies. Results for waste flows kept almost constant during all gasification tests (c.a. 11 kg/h).

However, the incorporation of SS raised the production of chars especially in the situation of M2 (+45 %), and which was a direct consequence of the high amounts of ash present in SS. Although SS contributed for the reduction of tar generation, it also promoted the formation of chars as a by-product, and for which adequate treatments and valorisation

RESULTS FOR GASIFICATION PERFORMANCE INDICATORS

Parameter	Mixture		
	M1	M2	M3
ER	0.23	0.35	0.37
Waste flow (kg/h)	10.4	11.2	10.9
Syngas yield (m ³ /kg waste)	2.1	2.9	3.0
Char yield (g/kg waste)	87.4	127.1	104.0
Tar yield (g/kg waste)	24.1	4.7	3.7
CGE (%)	71.3	92.0	88.8

pathways must be defined in order to divert their elimination to landfills.

Overall, mixture M3 conducted to the optimal results in terms of the analysed performance indicators, mainly due to the highest gas yield (3 m³/kg waste) and the lowest tar

formation (3.7 g/kg waste). Furthermore, it also produced a good result for CGE (88.8 %) and an intermediary value for char yield (104 g/kg waste).

c. Analysis of gasification products

Evolution of composition and LHV of gas samples collected from the gasification of the different mixtures are represented in Fig. 1.

The increase of SS proportion generated a reduction of H₂ and CH₄ concentrations (-2.4 vol% and -0.4 vol%, respectively), with a direct consequence in the slight diminishment of the LHV (from 5.4 to 4.8 MJ/m³). This phenomena was also observed in other works [3, 6] and can be explained by three main reasons: (i) increase of the inorganic fraction introduced by SS, (ii) reduction of volatile matter content in the mixtures, and (iii) the slight decline of CH₄ affected negatively the steam methane reforming reaction that stimulates the formation of H₂ [15]. Proportion of N₂ increased slightly (+3.1 vol%) probably due to the greater ER's that were determined. Besides, an attenuation of CO₂ content was verified (-3.8 vol%), and the same also happened with CO when passing from mixture M2 to M3 (-1.2 vol%). These observations are in evident contradiction with the higher ER's for mixtures containing SS; in fact, the increase of air flow introduced in the reactor would stimulate combustion reactions to produce more CO₂ [8]. In this situation, it seems that SS had a limiting effect in the reaction among carbon present in the feedstock and the oxygen from the air.

It must be pointed out that the presence of the toxic compound H₂S was not detected in all experiments since both WW and SS contained absent levels of S.

In order to investigate the properties and to establish valid pathways for the valorisation of chars, table III presents the levels of the main inorganic elements and chlorine that were found.

Generally, it was verified significant amounts of Ca and Fe oxides in all char samples (>6 wt% db). As expected, the increase of SS promoted the formation of more Fe₂O₃ and the lowering of CaO levels, because this residue is particularly

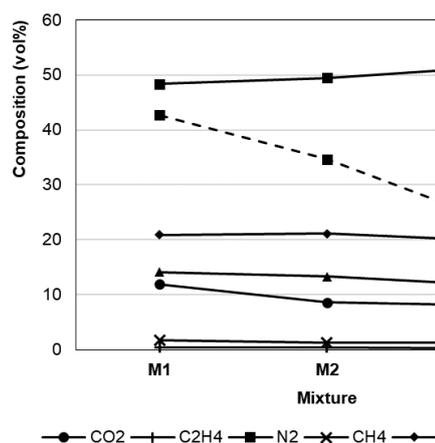


Fig. 1. Composition and LHV of gas samples from the various mixtures.

COMPOSITION OF CHARs PRODUCED DURING THE GASIFICATION EXPERIMENTS

Parameter	Mixture			
	M1	M2	M3	
Oxides (wt% db)	CaO	20.8	14.8	13.9
	Fe ₂ O ₃	6.2	11.7	16.9
	K ₂ O	1.7	1.6	1.8
	SiO ₂	3.0	2.6	2.1
Heavy metals (ppmw db)	Cd	0	14	13
	Cr	1171	1410	1218
	Cu	407	519	643
	Hg	0	86	142
	Ni	462	506	519
	Pb	328	185	217
	Zn	2336	1917	3506
Chlorine (wt% db)	1.2	0.5	0.5	

rich in Fe and poor in Ca when compared with WW. The

presence of Fe in high quantities when the proportion of SS rose justified the occurrence of stone agglomerations inside the reactor, and this was particularly severe when the mixture M3 was gasified. Greater concentrations of SS induced the formation of agglomerations of bigger dimensions and hardnesses, an observation that was also reported in [3]. These agglomerations were thus responsible for blockage problems inside the reactor. Therefore, proportions of SS beyond 12.5 wt% are not advisable to be incorporated in the mixtures, although this problem can also be solved by replacing the downdraft reactor by a fluidised bed one; in this case, the amount of SS may be increased [9]. An image of the agglomerations that were found is presented in Fig. 2.

Chlorine levels also increased in chars relative to the original residues, but when the SS fraction rose a decrease in chlorine concentration measured in chars was verified (from 1.5 to 0.5 wt% db). This shows that SS limits the absorption capacity of chlorine by chars, which probably migrated to other gasification products (gas and tars).

Generally speaking, heavy metal concentrations were greater when SS was introduced in the mixtures. According to the Portuguese legislation (decre-law 103/2015, of June 15th), chars are not appropriate for valorisation as soil fertilisers due to the higher amounts of heavy metals that were analysed (with the exception of Hg), and which exceeded the legal limits. However, the presence of high concentrations of Ca, Fe and K allows the use of these chars as catalysts in a gasification process, with the aim of enhancing the decomposition of hydrocarbons and tar abatement [16, 17].



Fig. 2. Stones formed in the reactor after gasification of mixtures containing SS.

Thus, it is still possible to valorise these by-products instead of directly forwarding them to landfills.

Although the gasification performance was better when using the mixture M3, the formation of bigger agglomerations inside the reactor may eventually cause problems to the equipment and in the process operation. Therefore, the optimal proportions of WW and SS in the mixtures were those defined for the intermediate mixture M2 (87.5 wt% WW + 12.5 wt% SS), due to the reduced agglomerations inside the reactor, good results for LHV and yield of product gas (5.2 MJ/m³ and 2.9 m³/kg waste, respectively), lower tar formation (4.7 g/kg waste), and the highest CGE (92 %).

CONCLUSIONS

In this work, co-gasification experiments with WW and SS in different proportions were performed in a downdraft reactor, aiming to investigate process performance and the quality and properties of product gas and chars that were obtained.

Inclusion of SS in the mixtures improved the CGE and product gas yield, and simultaneously reduced the formation of tars that would induce problems in the equipment and would reduce the overall efficiency. Calorific properties of the product gas were not significantly affected when compared with the gas from the mixture with 100 wt% WW. However, an increase of char production was observed, promoting the formation of

agglomerations inside the reactor that caused blockage problems. These chars can be valorised as catalysts in gasification due to the high concentrations of Fe, Ca and K. The mixture that generated the optimal results was the one that incorporated 87.5 wt% WW and 12.5 wt% SS.

In short, the present study revealed that co-gasification of WW and SS is a viable solution for the energetic valorisation of these residues, allowing to compensate the weaknesses of each of them. Co-gasification may thus replace other conventional treatments like incineration and landfilling, with harmful consequences for public health and environment. In this manner, a better environmental sustainability may be achieved.

ACKNOWLEDGMENT

Authors are grateful for the financial support provided by Fundação para a Ciência e Tecnologia - Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (grant no. SFRH/BD/111956/2015), co-financed by Programa Operacional Potencial Humano and União Europeia-Fundo Social Europeu, and also by project POCI-01-0145-FEDER-

024020 (RDFGAS - Energy recovery of refuse-derived fuel and dehydrated sludge), co-financed by COMPETE 2020 - Programa Operacional Competitividade e Internacionalização, Portugal 2020 and União Europeia through FEDER.

REFERENCES

- S. S. A. Syed-Hassan, Y. Wang, S. Hu, S. Su and J. Xiang, "Thermochemical processing of sewage sludge to energy and fuel: Fundamentals, challenges and considerations", *Renew. Sust. Energ. Rev.*, vol. 80, pp. 888-913, 2017.
- Statistics Portugal, <https://www.ine.pt> (accessed on 6 June 2019).
- Z. Ong et al., "Co-gasification of woody biomass and sewage sludge in a fixed-bed downdraft gasifier", *Reaction Engineering, Kinetics and Catalysis*, vol. 61, no. 8, pp. 2508-2521, 2015.
- D. T. Furness, L. A. Hoggett and S. J. Judd, "Thermochemical treatment of sewage sludge", *J. CIWEM*, vol. 14, pp. 57-65, 2000.
- W. Arjhar, T. Hinsui, P. Liplap and G. S. V. Raghavan, "Evaluation of an energy production system from sewage sludge using a pilot-scale downdraft gasifier", *Energ. Fuel*, vol. 27, pp. 229-236, 2013.
- G. Vonk, B. Piriou, D. Wolbert, C. Cammarano and G. Vaïtilingom, "Analysis of pollutants in the product gas of a pilot scale downdraft gasifier fed with wood, or mixtures of wood and waste materials", *Biomass Bioenerg.*, vol. 125, pp. 139-150, 2019.
- F. C. Luz et al., "Techno-economic analysis of municipal solid waste gasification for electricity generation in Brazil", *Energ. Convers. Manage.*, vol. 103, pp. 321-337, 2015.
- G. Chen et al., "Co-gasification of acid hydrolysis residues and sewage sludge in a downdraft fixed gasifier with CaO as an in-bed additive", *Energ. Fuel*, vol. 32, pp. 5893-5900, 2018.
- K. W. Lee, W. C. Lee, H. J. Lee and J. I. Dong, "Gasification characteristics of sewage sludge combined with wood biomass", *J. Mater. Cycles Waste Manage.*, vol. 16, pp. 642-649, 2014.
- P. Basu, "Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction - Practical design and theory", 2nd ed., Academic Press, 2013.
- L. M. Dion, M. Lefsrud, V. Orsat and C. Cimon, "Biomass gasification and syngas combustion for greenhouse CO₂ enrichment", *Bioresources*, vol. 8 (2), pp. 1520-1538, 2013.
- M. J. Prins, K. J. Ptasiński and F. J. J. G. Janssen, "More efficient biomass gasification via torrefaction", *Energy*, vol. 31, pp. 3458-3470, 2006.
- S. Akkache et al., "Co-gasification of wastewater sludge and different feedstock: Feasibility study", *Biomass Bioenerg.*, vol. 89, pp. 201-209, 2016.
- V. R. Patel, D. Patel, N. Varia and R. N. Patel, "Co-gasification of lignite and waste wood in a pilot-scale (10 kWe) downdraft gasifier", *Energy*, vol. 119, pp. 834-844, 2017.
- U. Arena, "Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review", *Waste Manage.*, vol. 32, pp. 625-639, 2012.
- Y. Shen et al., "In-situ catalytic conversion of tar using rice husk char-supported nickel-iron catalysts for biomass pyrolysis/gasification", *Appl. Catal. B - Environ.*, vol. 152-153, pp. 140-151, 2014.
- D. Yao et al., "Hydrogen production from biomass gasification using biochar as a catalyst/support", *Bioresource Technol.*, vol. 216, pp. 159-164, 2016.

Study of divergences between modelling and site works applied to geosynthetics road

uses

Miguel Candel, Pablo Oliden, Carmen Jurado

Miguel Candel
dept. of construction
University of Extremadura
Cáceres, Spain
<https://orcid.org/0000-0003-4275-900X>

Pablo Roldán-Oliden
dept. of maths
University of Extremadura
Cáceres, Spain
proldan@unex.es

Carmen Calvo-Jurado
dept. of maths
University of Extremadura
Cáceres, Spain
ccalvo@unex.es

Abstract — Geosynthetics are commonly used in pavement reinforcement works. There are many references that show and quantify the benefits of their use, but not many of them discuss about their implementation on site. The aim of this paper is to identify the deviation between the empirical statements and the reality, that can be observed in field works. For that purpose, the different stages of several reinforcement operations have been monitored. The results show common execution mistakes that could make differ the properties measured on field from those obtained in the laboratory or mathematical models.

Keywords — geosynthetics, pavement reinforcement, civil engineering, field works

a. INTRODUCTION

Introduction According to AENOR standards [1] a geosynthetic material is the product made of different components in which at least one of them is made of a synthetical or natural polymer with the shape of a layer, a strip or a 3D structure which is used in contact with soil or other materials in the civil engineering works. Geosynthetic materials could be divided in four big groups according to its differential properties: geotextile, geotextile related products, geocomposites and geomembranes.

When talking about Civil engineering, geosynthetics are commonly used in the field of geotechnics or hydraulics works. In this paper, we will focus on one of its geotechnical uses, pavement reinforcement, as can be observed in Figure 1.

The different mechanisms of degradation produced by traffic and environmental loads, could be reduced with the appropriate use of an adequate geosynthetic material [2].



Fig. 7 Full road geogrid implementation.



Fig. 8 Starting condition of a road in advanced degradation status.

These products can be placed in several positions inside the pavement structure. During the 80's decade, several studies started to consider the use of reinforced pavement structures applying geosynthetics products inside granular basis at different positions of these structures. Over time, many studies concluded that the optimum position is in the middle of the granular base

[3][4] and a geogrid usually provides better results than a geotextile [5]. Recent papers which study flexible pavements [6], evaluate the improvement of the structural capacity provided by the introduction of geosynthetics products inside the asphalt layers.

The reinforcement of pavements due to the application of geotextile and geogrids has been object of study of several authors, but just a few of them deal with the methodology of implementation on site. The work presented by Chan et. al [5] has the purpose of defining the capability of geosynthetics reinforcement. It determined that factors as the right prestrees and anchorage include additional improvements when using these materials.

The aim of this paper is to identify the deviation between the empirical statements and the reality, that can be observed in field works.

The objective of the present paper, consists of defining the possible errors which could take place during the execution of the field works and to identify the possible existing divergences between scientific studies and the reality of site implementation.



Fig. 9 Deep cracks in milled pavement.

^bMETHODOLY

In order to elaborate the present paper, several site work visits, during different execution phases of road works has been made. The idea is being able to get a continuous monitoring of the different construction phases and get the information needed to compare site characteristics and modelling hypothesis.

Regardless the pavement condition, road type or geosynthetic material used, the first thing to do is a preliminary analysis of site conditions. At this first stage the most important thing is to identify the possible acting locations. These locations are the places where a

divergence between the model and the actual situation of the work place is clearly feasible to occur.

Once the existing problematic placed are identified, the second step consist on defining the suitable geosynthetics to be used in each of the diverse work scenarios considered, for every study case.

After this stage, according to the site typology or geometric characteristics that define every pavement project, it is a common practice to mill the existing pavement, and cleaning up the basis of the future pavement. In this moment, it is time for carrying out the following step of the process, a new inspection of the road condition is needed. In this point, the persisting pathologies should be defined as harsh and new possible affections should be considered if its occurrence is shown to be significant. At this point it is needed to reconsider the type of geosynthetic to be used to give a solution to the new problematic.

After that, during the following phases of the works, where the different reinforcement products are applied, the continuous surveillane by qualified personal is essential.



Fig. 10 Discontinuities in urban roads.

In this sense the right site implementation and materials execution could be guaranteed. It is because of that the second last step considered is watching all these phases of the works to identify the mistakes during site works execution.

Finally, the obtained results are compared with the assumptions made by other authors in the different papers about this topic so far and model hypothesis considered.

^cRESULTS

During several months three road works in which geosynthetics were being used were visited and the utilization of these material studied. The aim of this study was to analyse if a numerical model that is being developing to characterize the properties of a composite material fits with the reality of the road works carried out.

In this sense this paper shows what is found when analysing site works and if this could be considered acceptable for the use of the characteristics obtained with the computational model.

First of all, it can be appreciated that Figure 2 shows many interconnected cracks commonly called as 'crocodile skin'. This pathology is very common and subject matter for several authors and it can be observed, and a first consideration of geosynthetic to be used as a solution is proposed. But in order to rehab roads with this kind of issue, is important to mill the existing pavement to clean it up. Figure 3, shows the condition of a milled road with deep cracks easily distinguishable. This milling allows to identify cracks which origin is in the pavement basis and this enables to find and act over them using appropriate materials.

It is also essential to identify where future cracks could appear. In the case of urban roads, is common to find different pavement discontinuities. This can be appreciated by doing a first inspection on site. For example, if Figure 4 is observed it can be detected that in the left picture an urban services ditch filled with mass concrete is shown. This generates a mix of pavements with different characteristics and if these discontinuities are properly treated, using the correct geosynthetic material, the reflective cracking in the surface layer is ensured.

In the picture of the right, of Figure 4, a typical gardened island traffic is shown. The fact of being filled with graded aggregate and a bigger amount of asphalt induces a different behaviour with the surrounding pavement. Settlements that will be shown in the surface layer in the way of cracks or undulations, may appear. This issue is not common in roads outside urban areas, due to the pavements are continuous and this kind of interference does not exist.



Fig. 11 Incorrect performance over a longitudinal cracking.



Fig. 12 Geogrid overlap poorly executed.

In all the above situations it is necessary to achieve a proper interaction between the road materials and geosynthetics, to get this is crucial to get a good fixation of the different materials without any air gaps and a continuity among them. In Figures 2, 3 and 4 staff should be aware of a proper installation of all material to achieve the purpose.

Most times lack of qualified staff with the required knowledge for the geosynthetics operation, is reflected in common execution errors such as the one shown in Figure 5. It can be noticed that the no filling the longitudinal deep crack with asphalt previously, produces the mistake in the geosynthetics fitting. This may result in folds and gaps which blocks the right material functioning.

Another common mistake it is produced when placing the geogrid. Providers of these materials have indications about the execution of the overlaps both longitudinal and cross directions. Figure 6, shows an overlap where the ranges and fibers direction are not observed, this produces an incorrect functioning of the material.

When the decision taken is to execute the reinforcement along the whole road, those kind of mistakes are reduced. In Figure 1, an example of good practice can be appreciated. In this figure it is shown a correct anchorage and prestress of the geogrid, which provides an homogeneous and effective result.

If in Figure 7 a close look is taken to the sample performed after a road rehab; it can be observed a correct execution that ensures the adherence between the geosynthetic and both pavement layers of the road.

After the analysis of the different situations detected in this study it is clear that a numerical model can give accurate results to the real behaviour of geosynthetics when site works are close to the situations defined by Figures 1 and 7. Situations described in figures 2, 3 and 4 need a correct implementation of the installation instructions given by de providers to achieve a good

correlation between model hypothesis and real site works. But they could be reached if qualified staff deals whit the work.

Unfortunately, if situations such as those identified in figures 5 and 6 are performed the use of the results provided by the numerical model should not be taken into account since the divergence between reality and the model is clear. The results of the model would be based on false premises, so the



Fig. 13 Sample of rehabbed pavement.

behaviour of material on site would differ from that obtained based on characteristics of the model results.

CONCLUSIONS

Real field works differ from laboratory conditions and premises of laboratory and numerical models are sometimes difficult to assume when comparing with reality.

After all the situations analysed within this paper it can be considered that when site works are performed in the whole extension of the road the functionality of the geosynthetics materials fits better the properties of a composite material and numerical models can predict more accurately its characteristics. If geosynthetic material are only used in problematic zones and are overlapped in different directions the properties and characteristics that are supposed to induced into the composite material are not reached. And because of the divergence among the hypothesis of models and reality observed the use of a model to predict the properties or characteristics of such material should not be considered as a good approximation.

It is also important to mention that in many cases qualified staff may make the difference and if an adequate installation of the geosynthetics is reached the behaviour of the real composite material and the model can be similar. This is an advantage when predicting possible future problems of a material. It is essential that staff complete a work were no gaps are left among material, were continuity of geosynthetics is guaranteed and overlapping is avoided.

Attending to the studied carried out, the correct identification of road problematics and the feasible

geosynthetics to fix them joined to a careful work held by qualified staff can make that reality and modelling come closer and closer.

ACKNOWLEDGMENT

This study was funded by the Government of Extremadura and the European Regional Development Fund (FEDER), Una manera de hacer Europa, under support GR18001 given to the group Genorma FQM022, and the FSE, Empleo Juvenil 2014-2020.

REFERENCES

- AENOR, Geosintéticos. Parte 1: Términos y definiciones. UNE-EN ISO 10318. Madrid: AENOR, 2019.
- J. Zornberg, Geosynthetic-reinforced Pavement Systems, *Ingenieria Civil*, 2013, vol. 171, p. 5-25.
- F. Moghaddas-Nejad, J.C. Small, "Effect of geogrid reinforcement in model track tests on pavements." *Journal of transportation engineering*, 1996, vol. 122, no 6, p. 468-474.
- S. W. Perkins, "Numerical modeling of geosynthetic reinforced flexible pavements." Western Transportation Institute, Department of Civil Engineering, Montana State University, 2001.
- F. Chan, R.D. Barksdale and S.F. Brown, "Aggregate base reinforcement of surfaced pavements." *Geotextiles and Geomembranes*, 1989, vol.8, no 3, p. 165-189.
- N. S. Correia, J.G. Zornberg, "Mechanical response of flexible pavements enhanced with geogrid-reinforced asphalt overlays." *Geosynthetics International*, 2016, vol. 23, no 3, p. 183-193.
- F. Moreno-Navarro, M. C. Rubio-Gómez "UGR-FACT test for the study of fatigue cracking in bituminous mixes". *Construction and Building Materials*, 2013, vol. 43, p. 184-190.
- I. Gonzalez-Torre, M. Calzada-Pérez, A. Vega-Zamanillo and D. Castro-Fresno. "Experimental study of thebehaviour of different geosynthetics as anti-reflective cracking systems using acombined-load fatigue test." *Geotextiles and Geomembranes*, 2015, vol. 43, n 4, p. 345-350.

Reinforcement of pavements with geosynthetics. Estimation of effective elastic properties.

Carmen Jurado, Pablo Oliden, Miguel Candel

Carmen Calvo-Jurado
dept. of maths
University of Extremadura
Cáceres, Spain
ccalvo@unex.es

Pablo Roldán-Oliden
dept. of maths
University of Extremadura
Cáceres, Spain
proldan@unex.es

Miguel Candel
dept. of construction
University of Extremadura
Cáceres, Spain
<https://orcid.org/0000-0003-4275-900X>

Abstract—Composite materials are design to be able to achieve properties that would be unreachable if materials were used separately. A clear example of this, in civil engineering, is reinforced concrete. It is also important in this sense and into this field of work the material it is analyzed in this article, reinforced pavement of roads. The aim of this paper is to estimate the elastic properties of these materials. To reach that goal homogenization theory and related techniques would be used. The results obtained within this work shows significant structural benefits when including in the pavement these types of materials.

Keywords—Composite materials, pavement, civil engineering, homogenization and geosynthetic materials.

°INTRODUCTION

A composite material can be defined as a material that is built like the mixture of different materials and one of them is on solid-phase, and it is designed to optimize the properties of the combined material. The aim of this union is, hence forth, the design of a material which properties cannot be reached by any of its components separately.

When studying properties of composite materials, it is usual to talk about the matrix of the material and the reinforcing materials such as fibres or aggregations, also called phases. The matrix is the material that includes the phases; inside of the matrix the phases are protected against adverse environmental or physics conditions which could damage them. This condition allows that the transference of different properties such as tensile stress can be developed without problem into the composite material. At the same time, it gives support to the reinforcing materials to avoid its sag when compressive stress takes place.

The most usual example of a composite material used in civil engineering is the reinforced concrete as mentioned above. This material improves the strength of a conventional concrete to compression, bending and tensile stresses. The composite material that is studied in

this work is the reinforced pavement. Since the 80's decade, reinforced pavements with geosynthetics materials are being used in civil engineering works, see [1], their principal tasks were orientated to drainage, segregation, filter or mainly reinforce functions. When talking about reinforcement it is focused on tensile and torsional stress.

The geosynthetic material used for reinforced pavements represent an example of laminated compound. On behalf of the orientation of the fibres that form the layers of the geosynthetic material the strength of the composite material can be improved. In this sense, although the experience shows the evidences of using geosynthetics for the reinforcement of other materials creating composite materials with better characteristics. In that sense, While the advantages of using geosynthetic reinforcements are unquestionable, the scientific mechanisms to quantify this reinforcement are unclear and object of recent research by different authors [2], [3], [4], [5].

The objective of this work is to estimate elastic properties in pavement reinforced with geosynthetic, applying techniques related to the Theory of Homogenization.

‡METHODOLOGY

Tensor deformation (ε) components has been related with the tensor tensions (σ) through the generalized Hooke's law, as follows:

$$\sigma = C\varepsilon. \quad (1)$$

Then, the constitutive equations of an elastic solid can be expressed through the following symmetric matrix:

$$\begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \tau_{23} \\ \tau_{13} \\ \tau_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{13} \\ \gamma_{12} \end{pmatrix} \quad (2)$$

The inverse of the stiffness matrix C is called the flexibility matrix and is denoted by S, satisfying:

$$\varepsilon = S\sigma \quad (3)$$

When the material has three orthogonal planes with elastic symmetry and in one of the planes the behavior is isotropic, the material is said to be transversely isotropic. In this case the number of elastic constants is reduced to 5:

$$C_{T,Isotropic} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{11} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{13} & C_{13} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{C_{11}-C_{12}}{2} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Knowing the mechanical properties of the different materials separately, their respective volume fractions and following the Theory of Homogenization, the effective properties of the composite material have been obtained. Specifically, the Mixtures Law has been used, also called Voigt-Reuss [6], [7] or Wiener bounds [8] considered as one of the simplest homogenization techniques.

This Law establishes conditions of isodeformation and isotension in the composite material, where a representative

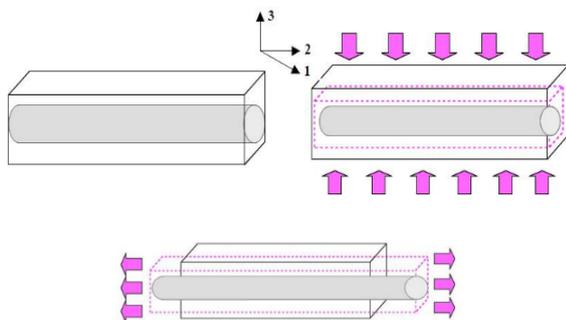


Fig. 14 Isotension and isodeformation condition on representative element.

cell submitted to these hypotheses would be represented by Figure 1.

Starting from the previous hypotheses, elastic properties of the composite material can be estimated through the following expressions:

- Estimation of axial rigidity modules of composite material:

$$E_i^h = E_i^f \phi_f + E_i^m \phi_m \quad (5)$$

- Estimation of the transverse stiffness module:

$$E_3^h = \frac{1}{\frac{\phi_f}{E_3^f} + \frac{\phi_m}{E_3^m}} \quad (6)$$

- Poisson modules and cutting of laminated material:

$$\begin{aligned} \nu_{12}^H &= \nu_{21}^H = \phi_f \nu^f + \phi_m \nu^m \quad (7) \\ \nu_{23}^H &= \nu_{13}^H, \nu_{32}^H = \nu_{31}^H, \text{ with } \nu_{kl}^H \\ &= \frac{E_k}{2\mu_{kl}^H} - 1 \end{aligned}$$

Using the properties of the homogenized material given by the expressions (5), (6) and (7) we can formulate Hooke's Law (1) for reinforced pavement through:

$$\sigma^H = \frac{C^H}{\varepsilon^H} \quad (8)$$

Where C^H is given by the expression (9).

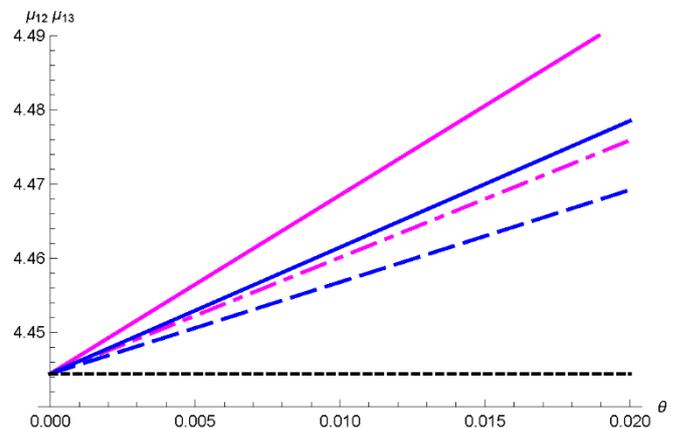


Fig. 15 Estimation of the transverse shear modules (μ₁₃; μ₂₃) with dashed and axial line μ₁₂, with continuous line, of two compounds. In blue, a pavement reinforced with polypropylene geosynthetic and in magenta, reinforced with polyester fiber. In discontinuous black, pavement shear module value without reinforcement

RESULTS

The obtained results to validate the previous proposal can be seen in the Figure 2,

To implement the above formulation, we use some data empirically obtained in works by different authors [9], [10] and implementing the previous estimates in the

Mathematica numerical software [11]. Some numerical homogenized results can be showed below.

Upper and lower range of the stiffness and flexibility matrix for floors reinforced with 1% polypropylene:

$$\begin{pmatrix} 5,9580 & 1,4895 & 5,2132 & 0 & 0 & 0 \\ 1,4895 & 5,9580 & 4,4685 & 0 & 0 & 0 \\ 5,2132 & 0 & 9,6817 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4,4685 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4,4685 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4,4685 \end{pmatrix}$$

- Stiffness matrix C^V

$$\begin{pmatrix} E_1^H \frac{1 - \nu_{23}^H \nu_{32}^H}{\Delta} & E_1^H \frac{\nu_{21}^H - \nu_{31}^H \nu_{23}^H}{\Delta} & E_1^H \frac{\nu_{31}^H - \nu_{21}^H \nu_{32}^H}{\Delta} & 0 & 0 & 0 \\ & E_1^H \frac{1 - \nu_{23}^H \nu_{32}^H}{\Delta} & E_1^H \frac{\nu_{31}^H - \nu_{21}^H \nu_{32}^H}{\Delta} & 0 & 0 & 0 \\ & & E_3^H \frac{1 - \nu_{12}^H \nu_{21}^H}{\Delta} & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{E_1^H}{2(1 + \nu_{31}^H)} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{E_1^H}{2(1 + \nu_{31}^H)} & 0 \\ & & & & & \frac{E_1^H \frac{1 - \nu_{23}^H \nu_{32}^H}{\Delta} - E_1^H \frac{\nu_{21}^H - \nu_{31}^H \nu_{23}^H}{\Delta}}{2} \end{pmatrix} \quad (9)$$

sim

- Stiffness matrix C^R

$$\begin{pmatrix} 5,9468 & 1,4867 & 5,2034 & 0 & 0 & 0 \\ 1,4867 & 5,9468 & 4,4601 & 0 & 0 & 0 \\ 5,2034 & 0 & 9,6635 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4,4601 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4,4601 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4,4602 \end{pmatrix}$$

- Flexibility matrix S^V

$$\begin{pmatrix} 0,2958 & -0,073 & -0,125 & 0 & 0 & 0 \\ 0,0455 & 0,1564 & -0,096 & 0 & 0 & 0 \\ 0,159 & 0,0398 & 0,1706 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,2237 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2237 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2237 \end{pmatrix}$$

- Flexibility matrix S^R

$$\begin{pmatrix} 0,2964 & -0,074 & -0,125 & 0 & 0 & 0 \\ 0,0456 & 0,1567 & -0,096 & 0 & 0 & 0 \\ -0,159 & 0,0399 & 0,1710 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,2242 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2242 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2242 \end{pmatrix}$$

CONCLUSIONS

As seen in Figure 1.2, the use of geosynthetics as pavement reinforcement provides significant structural benefits. The results obtained confirm the conclusions, which using several analytical and empirical methods suggest several authors [12], [13]. In particular, the presence of reinforcements with geosynthetics makes the resulting composite material (reinforced pavement) more resistant and at the same time more ductile (due to the properties of the reinforcement). In particular, it improves the tensile strength and axial and tangential compression.

ACKNOWLEDGMENT

This study was funded by the Government of Extremadura and the European Regional Development Fund (FEDER), Una manera de hacer Europa, under support GR18001 given to the group Genorma FQM022, and the FSE, Empleo Juvenil 2014-2020.

REFERENCES

J. Zornberg, "Geosynthetic-reinforced Pavement Systems", *Ingenieria Civil*, 2013, vol. 171, p. 5-25
 J. P. Giruod and L. Noiray, "Geotextile-reinforced unpaved road design." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 1981, vol. 107, no ASCE 16489.

- H. I. Ling and H. Liu, "Finite element studies of asphalt concrete pavement reinforced with geogrid." *Journal of engineering mechanics*, 2003, vol. 129, no 7, p. 801-811.
- S. W. Perkins, B. R. Christopher, E. L. Cuelho, G.R. Eiksund; C. S. Schwartz and G. Svano, "A mechanisticempirical model for base-reinforced flexible pavements." *International Journal of Pavement Engineering*, 2009, vol. 10, no 2, p. 101-114.
- S. W. Perkins, "Numerical modeling of geosynthetic reinforced flexible pavements." Western Transportation Institute, Department of Civil Engineering, Montana State University, 2001.
- W. Voigt, "Ueber die Beziehung zwischeden beiden Elasticitätsconstanten." *Annalen der Physik* 38:573–587, 1889.
- A. Reuss, "Calculation of the flow limits of mixed crystals on the basis of the plasticity of mono-crystals." 1929, *Z. Angew Math, Mech* 9:49–58.
- O. Wiener, "The theory of composites for the field of steady flow." First treatment of mean value estimates for force, polarization and energy 32, 509, 1912.
- N. Banthia, N. Krstulovic-Opara and M.A. Galinat, "Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete", ACI Committee 544, American Concrete Institute, ISBN 978-0-87031-365-3, 2010.
- L. Medina-Rodríguez, M. Melis Maynar and I. Pérez-Pérez. "La deformabilidad de la explanada y el análisis de firmes," *Curso de geotecnia vial: terraplenes y pedraplenes, desmontes y drenajes*, 2000 pp. 1-21, A Coruña Instituto Técnico de la Vialidad y del Transporte (INTEVIA).
- Wolfram Research, Inc., *Mathematica*, Version 11.3, Champaign, IL (2018).
- S. W. Perkins, "Constitutive modeling of geosynthetics." *Geotextiles and Geomembranes*, 2000, vol. 18, no 5, p. 273-292.
- W.J. Robinson, S. Jeb, G.J. Norwood, M.H. Wayne and J. Kwon, Performance of multi-axial geogrid stabilised flexible pavements, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Improvement*, 171 , November, 2018, pp. 185-194.

On the search of innovative applications of hydrochars: use in soil amendment.

Teresa Sosa, Juan Alias, Natividad Chaves, Beatriz Ledesma, Silvia Román

Teresa Sosa
Ecology and Earth Sciences
Department
University of Extremadura
Badajoz, Spain
tsosa@unex.es

Juan Carlos Alias
Ecology and Earth Sciences
Department
University of Extremadura
Badajoz, Spain
alias@unex.es

Natividad Chaves
Ecology and Earth Sciences
University of Extremadura Department
Badajoz, Spain
nchaves@unex.es

Beatriz Ledesma
Applied Physics Department
University of Extremadura
Badajoz, Spain
beatrizlc@unex.es

Silvia Román
Applied Physics Department
University of Extremadura
Badajoz, Spain
sroman@unex.es

Abstract— *This work aims to provide a solution to a severe aquatic invasive species that is currently a threat to ecosystems in many countries in the world, water hyacinth. In particular, the stem fraction of this material was subjected to hydrothermal treatment and the carbonaceous hydrochar was used in different proportions using vermiculite as substrate in soil amendment processes to investigate its effect on soil properties and corresponding lettuce development.*

Keywords—hydrocarbonization, water hyacinth, soil amendment

^a INTRODUCTION

With the outstanding push of hydrothermal carbonization (HTC) as cost-effective sustainable methodology to use waste high humidity biomass into carbon materials (hydrochars), the search of applications for these products has become a hot topic for research worldwide [1]. One promising use for HCs is their use, in blends with substrate, to improve soil fertility, by retaining environmentally sensitive nutrients within soil matrix.

In general, an appealing biomass for such an application should have a high content in nutrients such as nitrogen, phosphorus and potassium, and the further processing should be effective in their capture. Dissimilarly to other thermal treatments aimed to produce carbon materials, as traditional pyrolysis, HTC, made under moderate conditions has proven to be effective in enhancing the capture of these elements [2], and carbon, while enhancing other desirable properties, such as development of wide pores on the char surface.

These advantages have moved many scientists to investigate the suitability of HCs in soil amendment processes; in this way, some attempts have been carried out using animal manure, such as poultry litter [3].

Water hyacinth (WH, *Eichhornia crassipes*), a high priority aquatic invasive species that is currently causing severe problems in many countries, was selected in this study as precursor, because as natural adsorbent, it has a high nitrogen and mineral content, as compared to other biomass materials. In particular, stem was separated from the plant and used in this study. Following HTC, under experimental conditions aimed to favor nutrient sequestration in the solid phase, as assessed in previous studies [4], in the solid phase, hydrochars (HCs) were prepared. Subsequently, lettuce was grown in camera runs and specific parameters were investigated, such as germination, shoot length, root length and dry weight individual.

^b EXPERIMENTAL

a. Preparation and characterization of hydrochars

WH was gathered from river Guadiana basin (Badajoz, Spain). Stem was manually separated and selected as precursor for this study, because of its relative greater abundance. According to its proximate analysis, this material has 88.9% wt. of moisture, which justifies the use of HTC, since other process would be economically very unfavorable. Volatile, ash and fixed carbon contents are, respectively, 9.6, 1.07 and 0.44% wt.

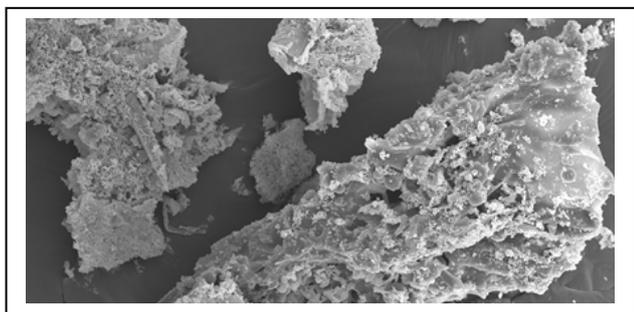
Prior to experiments, the precursor was dried in an oven, grounded and sieved to a particle size of 0.28-0.5 mm.

HTC processes were performed in a 0.15 L in an autoclave (Berghof, 0.15 L), according to the procedure

described elsewhere (20h, 230 °C, 5/100 wt. Biomass/water). After that, it was cooled down by ice bath and when it reached room temperature the sample was taken out and liquid and solid phases were separated by filtration (Whatman filter paper no. 3). Solid HCs were rinsed in deionized water and then dried in an oven and stored for further analyses.

The immediate analyses of the HCs was determined from thermal degradation profiles under inert and oxidizing atmospheres (thermobalance Setsys Evolution, Setaram), using Ar and Air, respectively. Heating rate was 5 C min⁻¹ and the carrier gas flow was 100 cm³ min⁻¹ in both cases.

The elemental composition was determined in dry



basis with an elementary analyzer (Eurovector EA 3000), according to the norm CEN/TS 15104 (for determining the content of C, H and N) and CEN/TS 15289 (for S).

The surface structure of selected HCs was further characterized by N₂ adsorption at 77 K (Autosorb-1, Quantachrome) and Scanning Electron Microscopy (SEM, S-3600N Microscope, Hitachi). Finally, X-Ray Photoelectron Microscopy (XPS, K-Alpha) analyses were conducted in order to infer information about the components and chemical bonding of HCs N-surface functionalities

b. Substrate preparation and growing runs

Growth camera runs (temperature 20°C, light-dark 12-12h) were made, analyzing the effects of HCs from WH roots that were mixed thoroughly with vermiculite at the following addition rates: 1, 5, and 20% (vol:vol). The experimental unit were alveoli of 3 cm³. In each alveolus a lettuce seed was planted (30 seeds per treatment). The experiment was watered to field capacity with tap water every two days, during five weeks. At the end of the trial period the root and stem length was measured. The plants were extracted from soil by hand, washed, dried (60 °C) and weighed. The significance level of comparisons among treatments

was estimated by using the Mann-Whitney U-test. Differences were taken as significant with P<0.05.

DISCUSSION OF RESULTS

a. Characterization of HCs

HCs showed a great enhancement of C content (43%) as compared to the initial precursor, as a result of the release of mainly H and O during the process, as a consequence of dehydration and decarboxylation reactions.

Besides, the N content was high (3.8%), since the selected conditions favoured the precipitation of N compounds (that had previously migrated to the aqueous phase) on the HC surface, due to adsorption.

In relation to the structure, the HCs were mesoporous and had very scant porosity, as usually found, due to the permanence of degradation products blocking the solid porosity (values of S_{BET} of 15 m²/g). Regarding the surface morphology (see Figure 1), some irregular cavities were observed as well as the presence of white particles on the HC surface; these particles can be associated with the mineral content of the precursor which, as a consequence of the thermal treatment, are sintered or precipitate on the HC surface.

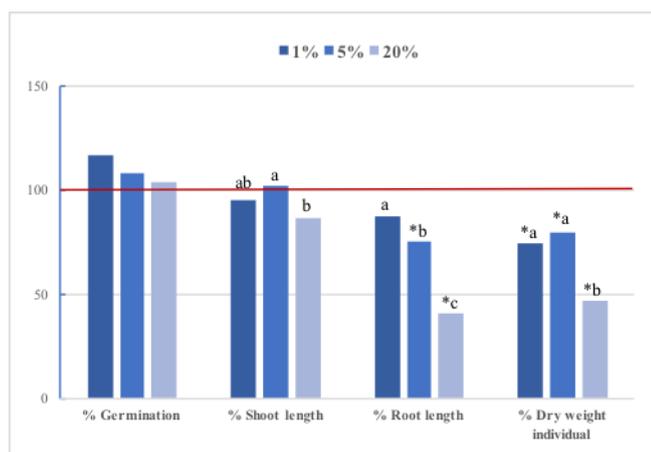
SEM caption of HC (magnification: 400).

XPS analyses confirmed the presence of amides and N. cyclic compounds on the solid surface, as well as pyridinic compounds.

XPS analyses confirmed the presence of amides and N. cyclic compounds on the solid surface, as well as pyridinic compounds.

b. Soil ammendment studies

The bioassays allowed concluding that the lettuce germination was not stimulated under any concentration condition and the dry weight of the plants decreased (see Figure 3). On the other hand, at higher concentrations (5% and 20%) the root length decreased, in relation to the control sample. On the other hand, the length of the stem is not significantly affected at any of the tested concentrations. Besides, it is interesting to highlight that the inhibiting effect of the HC on the root length and plant dry weight is clearly more severe at the highest concentration, as compared to the other conditions. These results are in agreement with previous pieces of research on HCs from other parts of *E. crassipes* [5, 6] and also with the results found by other authors for HCs from different places [7]. In this way, it is confirmed that the amount of HC added in ammendment processes is an important index to be considered due to its toxicity at high concentrations.



Effect of the addition of different amounts of HCs in a vermiculite substrate on the germination and development of *L. sativa*, expressed as percentage relative to the control sample. *significantly different to the control $p < 0.05$ (Mann-Whitney U-test). a, b, c: differences between concentrations, same letters=significantly no different: $p > 0.05$ (Mann-Whitney U-test).

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful to *Ministerio de Ciencia Innovación y Universidades* and the *Junta de Extremadura* and *FEDER* (Fondo Europeo de Desarrollo Regional "Una manera de hacer Europa"), for financial help by projects CTM2016-75937-R and IB16108, respectively, and also to the programme "Ayudas a grupos de la Junta de Extremadura"

REFERENCES

- S. Román et al. Hydrothermal Carbonization: Modeling, Final Properties Design and Applications: A Review. *Energies* 2018, 11(1), pp. 216-244.
- Ekob.
- Viviam Mau. Recirculation of HTC aqueous phase and use as fertilizer. 2nd International Symposium on Hydrothermal carbonization (DBFZ Publisher). Berlín, may 2019.
- S. Román, B. Ledesma, A. Álvarez, C. Coronella, S. V. Aaramaleki. Suitability of hydrothermal carbonization to convert water hyacinth to added-value products. Process optimization. *Renewable Energy*. Unpublished; under review.
- JC. Alias, N. Chaves, T. Sosa, A. Álvarez, S. Román. Material of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (Water lily) derived from hydrothermal carbonization: Effects on plant growth. EGTEIC International Conference. Cáceres, Junio 2019.
- T. Sosa, J.C. Alias, N. Chaves, B. Ledesma, S. Román. Applicability of water hyacinth hydrochars in soil remediation processes. Optimization of substrate ratio. EGTEIC International Conference. Cáceres, Junio 2019.
- Busch D, Stark A, Kammann CI, Glaser B. Genotoxic and phytotoxic risk assessment of fresh and treated hydrochar from hydrothermal carbonization compared to biochar from pyrolysis. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2013 Nov;97:59-66. doi: 10.1016/j.ecoenv.2013.07.003.



[THEOREM]
PROFESSIONAL CONFERENCE ORGANISERS