

# **Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias 2**



Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

(Organizadores)

# Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias 2



Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

(Organizadores)

**Editora Chefe**

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecário**

Maurício Amormino Júnior

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Cândido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágnere Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Gislene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Elio Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrão Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof<sup>a</sup> Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>a</sup> Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Prof<sup>a</sup> Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>a</sup> Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof<sup>a</sup> Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Prof<sup>a</sup> Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Prof<sup>a</sup> Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguariúna  
Prof<sup>a</sup> Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecário:** Maurício Amormino Júnior  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Vanessa Mottin de Oliveira Batista  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

R436 Resultados das pesquisas e inovações na área das engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-5706-456-6  
DOI 10.22533/at.ed.566200510

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovações tecnológicas. 3. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João.

CDD 624

Elaborado por Maurício Amormino Júnior | CRB6/2422

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais e os conceitos ambientais, vem cada vez mais ganhando espaço nos estudos das grandes empresas e de pesquisadores. Esse aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Assim em um cenário cada vez mais competitivo, desenvolver novas maneiras de melhoria nos processos industriais, bem como para o próprio dia a dia da população é uma das buscas constantes das áreas de engenharia.

Nesse livro conceitos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e aproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Ainda traz assuntos voltados ao desenvolvimento de materiais, buscando melhorias no processo e no produto final, sendo uma busca constante a redução e reutilização dos resíduos.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradecemos pela con iança e espirito de parceria.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

## **SUMÁRIO**

<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
RESÍDUOS SÓLIDOS NO IFSP – CAMPUS SÃO CARLOS	
Adriana Antunes Lopes	
José Henrique de Andrade	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5662005101</b>	
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>8</b>
OPORTUNIDADES DA VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA COLHEITA, PROCESSAMENTO E TORREFAÇÃO DO GRÃO DE CAFÉ NO BRASIL	
Mauro Donizeti Berni	
Paulo Cesar Manduca	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5662005102</b>	
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>22</b>
ANÁLISE DA VIABILIDADE DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS ADVINDOS DA MINERAÇÃO DE COBRE E OURO PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE TERRA COMPACTADA	
Jéssica Azevedo Coelho	
Aline Rodrigues da Silva Lira	
Aryágilla Phaôla Ferreira da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5662005103</b>	
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>34</b>
CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DOS RESÍDUOS GERADOS EM UM SHOPPING CENTER EM BALNEÁRIO CAMBORIÚ (SC)	
Bruna Emanuele Napoli Simioni	
Rafaela Picolotto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5662005104</b>	
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>42</b>
DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTOR ANAERÓBIO PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ALIMENTÍCIOS	
Tatiane Akemi Ramalho Yamashita	
Isabel Cristina de Barros Trannin	
Teófilo Miguel de Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5662005105</b>	
<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>56</b>
ESTUDO DO CONFORTO ACÚSTICO EM AMBIENTE ESCOLAR	
Otávio Akira Sakai	
Grasielle Cristina dos Santos Lembi Gorla	
Rodrigo de Oliveira	
Gustavo Silva Veloso de Menezes	
Joyce Ronquim Wedekind	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5662005106</b>	

**CAPÍTULO 7..... 66****ANÁLISE TÉRMICA E ACÚSTICA DE PLACAS DE VEDAÇÃO EM COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA**

Bruna de Oliveira Criado

Fernando Sérgio Okimoto

**DOI 10.22533/at.ed.5662005107**

**CAPÍTULO 8..... 80****COMPARATIVE ANALYSIS OF A TRANSIENT HEAT FLOW AND THERMAL STRESSES BY ANALYTICAL AND NUMERICAL METHODS**

Gisele Vilela Almeida

Nailde de Amorim Coelho

Nasser Samir Alkmim

**DOI 10.22533/at.ed.5662005108**

**CAPÍTULO 9..... 93****PRODUÇÃO DE NANOFIBRAS POLIMÉRICAS ELETROFIADAS PARA MATERIAIS INTELIGENTES**

Giovana Miti Aibara Paschoal

Bruno Henrique de Santana Gois

André Antunes da Silva

Pedro Leonardo Silva

Vilson Silva do Nascimento

Jessyka Carolina Bittencourt

Beatriz Marques Carvalho

Roger Clive Hiorns

Clarissa de Almeida Olivati

Deuber Lincon da Silva Agostini

**DOI 10.22533/at.ed.5662005109**

**CAPÍTULO 10..... 102****PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE TRANSISTORES DE FILME FINO DE ÓXIDOS METÁLICOS PROCESSADOS POR SOLUÇÃO**

João Mendes

João Paulo Braga

Giovani Gozzi

Lucas Fugikawa-Santos

**DOI 10.22533/at.ed.56620051010**

**CAPÍTULO 11..... 120****SISTEMA DE MEDIÇÃO PARA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS ATÉ 9 MN**

Frank Omena de Moura

Carlos Alberto Fabricio Junior

**DOI 10.22533/at.ed.56620051011**

**CAPÍTULO 12..... 124****ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE JUNTAS SOLDADAS**

## APLICANDO A TÉCNICA DE CORRELAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS

Ycaro Jorge Maia da Costa

José Máspoli Ferreira Pereira

Rodrigo Nogueira de Codes

**DOI 10.22533/at.ed.56620051012**

## **CAPÍTULO 13..... 137**

### CARACTERIZAÇÃO METALOGRÁFICA DE AÇOS MULTIFÁSICOS

Rafael Morel Martins

Bárbara Silva Sales Guimarães

**DOI 10.22533/at.ed.56620051013**

## **CAPÍTULO 14..... 148**

### APLICAÇÃO DA SINERGIA ENTRE CORANTE SINTÉTICO N719 E NATURAIS DO GÊNERO *OENOCARPUS* EM CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES

Rafael Becker Maciel

Everson do Prado Banczek

Guilherme José Turcatel Alves

Paulo Rogério Pinto Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.56620051014**

## **CAPÍTULO 15..... 154**

### PRODUÇÃO DE LIPASES FÚNGICAS DE *Penicillium sumatrense* POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO UTILIZANDO SEMENTE DE BARU (*Dipteryx alata*)

Tayrine Mainko Hoblos Pozzobon

Aline Danielly Awadallak

Pedro Oswaldo Morell

Gustavo de Castilho Baldus

Leonardo Pedranjo Silva

Ruana Barbosa Benitez

Edson Antônio da Silva

Marcia Regina Fagundes-Klen

Francisco de Assis Marques

Maria Luiza Fernandes Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.56620051015**

## **CAPÍTULO 16..... 166**

### PRODUÇÃO DE MANGANÊS PEROXIDASE A PARTIR DO *CERIPORIOPSIS SUBVERMISPORA*

Gabriela Mundim Maciel

Sandra de Cássia Dias

**DOI 10.22533/at.ed.56620051016**

## **CAPÍTULO 17..... 177**

### EXTRATO DE CASCAS DO *Allium sativum L.* COMO ANTIOXIDANTE PARA

**BIODIESEL DE CANOLA**

Débora Yumi Pelegrini  
Nayara Lais Boschen  
Cynthia Beatriz Furstenberger  
Everson do Prado Banczek  
Marilei de Fátima Oliveira  
Paulo Rogério Pinto Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.56620051017**

**CAPÍTULO 18..... 188****USO DA TERRA DE MUCUGÊ E IBICOARA-BA MEDIANTE AVANÇO DA AGRICULTURA COM SENSORIAMENTO REMOTO**

Luana Nascimento da Silva  
Vanessa Santos da Palma  
Luana da Silva Guedes  
Everton Luiz Polkeing

**DOI 10.22533/at.ed.56620051018**

**CAPÍTULO 19..... 193****DESAFIOS NA IMPLANTAÇÃO DAS BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO (BPFs) EM AGROINDÚSTRIAS FAMILIARES**

Rosângela Oliveira Soares  
Fátima Regina Zan  
Manuel Luís Tibério  
Artur Fernando Arede Correia Cristovão  
Paulino Varela Tavares  
Dieter Rugard Siedenberg

**DOI 10.22533/at.ed.56620051019**

**CAPÍTULO 20..... 205****O RECORTE DA TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA AGRIBIOTECNOLÓGICA NO BRASIL E NO MUNDO NOS ÚLTIMOS 30 ANOS**

Djeimella Ferreira de Souza  
Anna Flavia Moreira Martins de Almeida Pereira  
Rubén Dario Sinisterra Millán

**DOI 10.22533/at.ed.56620051020**

**CAPÍTULO 21..... 218****AJUSTE DE EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS A PARTIR DO DIÂMETRO DO TOCO E DAP PARA A ESPÉCIE DE CEDRO AMAZONENSE (*Cedrelinga catenaeformis*)**

Carla Alessandra dos Santos  
Murielli Garcia Caetano  
Pedro Paulo Gomes de Oliveira  
Vinícius Augusto Morais  
Jociane Rosseto de Oliveira Silva  
Ivan Cleiton de Oliveira Silva

**DOI 10.22533/at.ed.56620051021**

**CAPÍTULO 22..... 225****ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO PROCESSO CONSTRUTIVO EM ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCO CERÂMICO**

Anderson Pereira Cardoso

Márgua Lima da Cruz

Weverton Gabriel do Nascimento Mendonça

Ana Paula de Santana Bomfim

**DOI 10.22533/at.ed.56620051022**

**CAPÍTULO 23..... 234****ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA: EMPRESA BAJA ESPINHAÇO**

Rafaela Ribeiro Reis

Juliani Ramos Belício

Marcelino Serretti Leonel

Antonio Genilton Sant'Anna

**DOI 10.22533/at.ed.56620051023**

**CAPÍTULO 24..... 248****GUIDEAPP: FERRAMENTA DE AUXÍLIO À MOBILIDADE DE DEFICIENTES VISUAIS**

Brenno Duarte de Lima

Hugo Silva Nascimento

Jacó Alves Graça

Jonathan Costa Matos

Natan Silva Ferreira

Joab Bezerra de Almeida

**DOI 10.22533/at.ed.56620051024**

**CAPÍTULO 25..... 257****O TRANSPORTE COLETIVO E A OPÇÃO SOB DEMANDA: O ESTUDO DE CASO DE GOIÂNIA**

Mauro Cesar Loyola Branco

Giovani Manso Ávila

**DOI 10.22533/at.ed.56620051025**

**CAPÍTULO 26..... 269****UMA INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE DISPOSITIVOS DA ENGENHARIA DE TRÁFEGO NO SISTEMA VIÁRIO: INTERVENÇÃO NA RUA PADRE AGOSTINHO**

Marcia de Andrade Pereira Bernardinis

Luziane Machado Pavelski

Bruna Marcelli Claudino Buher Kureke

Alana Tamara Gonçalves Molinari

**DOI 10.22533/at.ed.56620051026**

**CAPÍTULO 27..... 276****A PARTICIPAÇÃO DA MULHER NOS CURSOS DE ENGENHARIA DA UFERSA:**

UM ESTUDO DE CASO NO CAMPUS MOSSORÓ

Camila Gabrielly Fernandes de Souza

Maria Aridenise Macena Fontenelle

**DOI 10.22533/at.ed.56620051027**

**CAPÍTULO 28..... 292**

INVESTIGATION OF THE MILLING EFFICIENCY OF THE X22CrMoV12-1 STEEL  
WITH VC AFTER 80 AND 100 HOURS

Roberta Alves Gomes Matos

Bruna Horta Bastos Kuffner

Gilbert Silva

**DOI 10.22533/at.ed.56620051028**

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 298**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 299**

# CAPÍTULO 1

## RESÍDUOS SÓLIDOS NO IFSP – CAMPUS SÃO CARLOS

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 13/07/2020

**Adriana Antunes Lopes**

Instituto Federal de São Paulo  
IFSP – campus São Carlos  
São Carlos – SP

<http://lattes.cnpq.br/8223592156939686>

**José Henrique de Andrade**

Instituto Federal de São Paulo  
IFSP – campus São Carlos  
São Carlos – SP

<http://lattes.cnpq.br/2346239171305383>

**RESUMO:** Muitas instituições de ensino ainda não implantaram um programa de coleta seletiva. Nesse sentido este estudo abordou o gerenciamento dos resíduos sólidos no IFSP – campus São Carlos com a finalidade de orientar a comunidade acadêmica sobre a separação adequada dos resíduos sólidos gerados no campus e auxiliar a comunidade acadêmica a reduzir o descarte incorreto dos resíduos. As informações foram obtidas por meio de visita aos setores administrativos e por meio de entrevista direcionada aos responsáveis por cada setor, com vistas a planejar e estruturar um programa de coleta seletiva, com base nas diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos. A proposta desta pesquisa visou contribuir para a sustentabilidade ambiental do campus por meio de boas práticas de responsabilidade socioambiental. O programa ainda tem muito que avançar, necessita de

aprimoramento com relação à separação dos resíduos, por isso recomenda-se a intensificação das campanhas educativas e de sensibilização da comunidade acadêmica, a fim de envolver um número maior de alunos e servidores.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos sólidos, coleta seletiva, Política Nacional de Resíduos Sólidos.

### SOLID WASTE AT IFSP - SÃO CARLOS CAMPUS

**ABSTRACT:** Many educational institutions have not yet implemented a selective collection program. In this sense, this study approached the management of solid waste at IFSP - campus São Carlos with the purpose of guiding the academic community on the proper separation of solid waste generated on campus and assisting the academic community to reduce incorrect waste disposal. The information was obtained through visits to the administrative sectors and through an interview directed to those responsible for each sector, with a view to planning and structuring a selective collection program, based on the guidelines of the National Solid Waste Policy. The purpose of this research was to contribute to the environmental sustainability of the campus, through good social and environmental responsibility practices. The program still has a long way to advance, it needs improvement in relation to the separation of waste, so it is recommended to intensify the educational and awareness campaigns of the academic community, in order to involve a greater number of students and servers.

**KEYWORDS:** Solid waste, selective collection, National Solid Waste Policy.

## 1 | INTRODUÇÃO

Na maioria dos campi dos institutos federais brasileiros a separação dos resíduos sólidos ainda não é realidade.

Atualmente no Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – campus São Carlos os resíduos orgânicos e recicláveis gerados são misturados, ou seja, são descartados na mesma lixeira. A coleta regular dos resíduos domiciliares é realizada cerca de duas vezes por semana por uma empresa terceirizada, contratada pela prefeitura (São Carlos Ambiental - Serviços de Limpeza Urbana e Tratamento de Resíduos Ltda). Porém, ainda não há coleta seletiva do material reciclável no campus.

Com relação aos pneus, eletroeletrônicos e resíduos perigosos (lâmpadas fluorescentes, tinta, graxa e óleo de motor), também não há coleta diferenciada destes materiais. Assim, a integração da instituição ao sistema de logística reversa é fundamental para o gerenciamento adequado destes resíduos, conforme diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12305/2010 (BRASIL, 2010).

A fim de melhorar as etapas de gerenciamento de resíduos no campus é preciso realizar um diagnóstico da geração destes resíduos, de acordo com o Art. 21 da PNRS (“O plano de gerenciamento de resíduos sólidos tem o seguinte conteúdo mínimo: I – descrição do empreendimento ou atividade; II – diagnóstico dos resíduos sólidos gerados ou administrados, contendo a origem, o volume e a caracterização dos resíduos, incluindo os passivos ambientais a eles relacionados...”).

Com base no Art. 27 da PNRS, “As pessoas físicas ou jurídicas referidas no art. 20 são responsáveis pela implementação e operacionalização integral do plano de gerenciamento de resíduos sólidos aprovado pelo órgão competente na forma do art. 24. § 1º A contratação de serviços de coleta, armazenamento, transporte, transbordo, tratamento ou destinação final de resíduos sólidos, ou de disposição final de rejeitos, não isenta as pessoas físicas ou jurídicas referidas no art. 20 da responsabilidade por danos que vierem a ser provocados pelo gerenciamento inadequado dos respectivos resíduos ou rejeitos”.

Nesse sentido este estudo visou contribuir para a sustentabilidade ambiental do campus, propondo boas práticas de responsabilidade socioambiental, a fim de envolver os alunos como integrantes do programa de coleta seletiva. Para isso foi proposta uma chamada no site do campus convidando os alunos como voluntários para desenvolverem algumas atividades, tais como: tirar dúvidas dos alunos, orientar como separar os resíduos; fiscalizar a separação dos resíduos nas lixeiras e fiscalizar se há descarte incorreto de resíduos no campus. Uma das metas é o incentivo à educação ambiental e sensibilização da comunidade acadêmica, a fim de ampliar seu conhecimento sobre o tema, principalmente no que se refere à separação e destino adequado dos resíduos sólidos.

## 2 | OBJETIVO

O objetivo geral deste estudo foi analisar os resíduos sólidos gerados no IFSP – campus São Carlos. Os objetivos específicos foram: (a) orientar a comunidade acadêmica sobre a separação adequada dos resíduos sólidos gerados no campus; (b) auxiliar a comunidade acadêmica a reduzir o descarte incorreto dos resíduos em salas de aula, nos ambientes dos servidores, bem como nas áreas comuns.

## 3 | METODOLOGIA

A área de estudo foi o Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – campus São Carlos, composto por cerca de 135 servidores (116 efetivos e 19 substitutos) e 1250 alunos aproximadamente. A instituição oferece cursos em níveis técnico, técnico integrado ao ensino médio, superior e pós-graduação, distribuídos em três eixos tecnológicos – indústria, informática e gestão.

Foi conduzido um estudo de caso, no qual foram levantados dados sobre os diferentes tipos de resíduos sólidos gerados no campus a partir de visita aos setores administrativos e por meio de entrevista direcionada aos responsáveis por cada setor. Foram levantadas informações com a fiscal de contrato do campus sobre o serviço de limpeza (como ocorre a coleta de resíduos no campus, qual a frequência, horários, número de funcionários), com a auxiliar administrativa sobre a possibilidade de aquisições de materiais (com o objetivo de solicitar lixeiras, contêineres, carrinhos, sacos de lixo de cores diferentes) e com alguns técnicos do hangar existente no campus sobre os resíduos gerados. A finalidade de se obter essas informações foi planejar e estruturar a coleta seletiva.

De acordo com Yin (2005, p.32), o estudo de caso pode ser definido como “uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos”. Tal tipo de procedimento envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento.

Também foi realizada pesquisa bibliográfica sobre o tema, registro fotográfico, visita à central de triagem de materiais recicláveis do município, bem como entrevista com a presidente da cooperativa – COOPERVIDA (Cooperativa de Trabalho de Catadores de Materiais Recicláveis de São Carlos). O objetivo da visita foi formalizar a parceria do IFSP – campus São Carlos com a cooperativa, atendendo o Decreto Nº 5.940, de 25 de outubro de 2006, que orienta a administração pública a destinar os resíduos recicláveis às associações e cooperativas de catadores. Durante a visita foram obtidas informações sobre quais resíduos a cooperativa consegue vender e quais não possui mercado.

## 4 | RESULTADOS

A partir de julho de 2019 os resíduos sólidos gerados por servidores e discentes passaram a ser separados, pois foi iniciado um programa de coleta seletiva no campus. Anteriormente os resíduos orgânicos e recicláveis eram descartados misturados em lixeiras azuis (Figura 1), espalhadas pelo campus. Nos setores administrativos e nas salas dos docentes havia e ainda há caixas de papelão (Figura 2) para o descarte de papéis, porém estes ainda não são acondicionados separadamente dos outros resíduos para a reciclagem devido à má separação por parte dos usuários, quando da coleta pela equipe terceirizada de limpeza.



Figura 1 – Lixeiras para descarte de resíduos



Figura 2 – Caixas para o descarte de papel

Fonte: autores

O material reciclável oriundo de embalagens de máquinas, equipamentos, ferramentas, materiais de laboratórios e setores administrativos é separado pela equipe de limpeza e técnicos do hangar. Este material era acondicionado apenas em *bags*, instalados na parte frontal do campus, próximo à entrada, com acesso pelo lado interno (Figura 3). Os *bags* são cedidos temporariamente pela cooperativa existente no município e trocados a cada coleta. Atualmente os recicláveis são acondicionados em sacos azuis e armazenados em contêineres devidamente tampados e equipados com roda e dreno (Figura 4).



Figura 3 – Bags



Figura 4 – Contêineres

Fonte: autores

A partir do Decreto Nº 5.940, de 25 de outubro de 2006, que institui a separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal direta e indireta, na fonte geradora, e a sua destinação às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis, e dá outras providências, foi formada a Comissão para Coleta Seletiva Solidária do campus São Carlos do IFSP, por meio da Portaria Nº SCL.0053/2019, de 10 de maio de 2019.

Como parte das atividades dessa comissão, foi realizada visita à COOPERVIDA, em 06 de junho de 2019, foi obtida assinatura de declaração pela presidente da cooperativa se responsabilizando em coletar os resíduos recicláveis gerados no campus às sextas-feiras, no período vespertino, de quinze em quinze dias. Durante a visita foram aplicadas questões sobre o funcionamento da coleta seletiva no município.

Com base nessas informações, foram propostas melhorias no gerenciamento de resíduos sólidos no campus, recomendando a implantação de um programa de coleta seletiva. Foi sugerida a separação entre os resíduos secos (recicláveis), os resíduos úmidos (orgânicos) e os resíduos não recicláveis e não orgânicos.

Atualmente existe no campus três tipos de lixeiras: azul para recicláveis, cinza para não recicláveis não orgânicos e marrom para orgânicos (Figura 5).



Figura 5 – Tipos de lixeiras

Fonte: autores

Vale ressaltar que os recicláveis são separados em categorias pela cooperativa na central de triagem.

Para o êxito do programa, foi recomendado pela comissão a realização de campanhas educativas e de sensibilização entre servidores e discentes, bem como o monitoramento da separação dos resíduos ao longo do tempo.

## 5 | CONCLUSÃO

Devido à ausência de gerenciamento dos resíduos sólidos no IFSP - campus São Carlos, no que se refere a separação, bem como o destino final adequado, se fez necessário implantar um plano eficiente e adequado na instituição, de acordo com as diretrizes da PNRS (Lei 12305/2010), a fim de minimizar o impacto ambiental negativo.

Com base nas informações levantadas, foi proposto e implantado um programa de coleta seletiva no campus, com vistas à separação e destino adequado dos resíduos, de acordo com a legislação e normas técnicas vigentes, evitando cobranças futuras pelos órgãos competentes, penalidades e denúncias. Salienta-se o potencial de melhoria do referido programa de coleta seletiva, tendo em vista que servidores e alunos poderão se tornar agentes multiplicadores de mudança no que se refere ao tratamento dos resíduos sólidos nos ambientes onde convivem.

O programa de coletas seletiva do campus São Carlos ainda tem muito que avançar quanto ao aprimoramento da separação dos resíduos, por isso recomenda-se a intensificação das campanhas educativas e de sensibilização da comunidade acadêmica, a fim de envolver um número maior de alunos e servidores.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 19 jul. 2019.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3a. ed. Porto Alegre - RS: Bookman, 2005.

# CAPÍTULO 2

## OPORTUNIDADES DA VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA COLHEITA, PROCESSAMENTO E TORREFAÇÃO DO GRÃO DE CAFÉ NO BRASIL

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 14/07/2020

**Mauro Donizeti Berni**

NIPE – UNICAMP

Campinas – São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/1602054738205274>

**Paulo Cesar Manduca**

NIPE – UNICAMP

Campinas – São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/0410237154093098>

capítulo, tem como principal objetivo demonstrar as oportunidades de valorização econômica dos resíduos sólidos: casca, pó e película. Para tanto, estima-se os volumes gerados na safra 2018/2019 e os potenciais de geração de energia e as oportunidades de produção de novos produtos de alto valor agregado, sob o conceito da economia circular para agroindústria brasileira do café.

**PALAVRAS-CHAVE:** Café, Resíduos, Fonte de Energia, Produção de Taninos, Mitigação Ambiental.

### OPPORTUNITIES FOR THE VALORIZATON OF SOLID WASTE FROM HARVESTING, PROCESSING AND ROASTING OF COFFEE GRAIN IN BRAZIL

**RESUMO:** A produção mundial de café (*Coffea arabica* e *grevillea robusta*) na safra 2018/2019 atingiu 174,5 milhões de sacas de 60kg (ICO, 2020). Para a safra 2018/2019, considerando apenas os três principais produtores, tem-se o Brasil em primeiro lugar que participa com 35,3% da produção mundial. Em segundo lugar, destaca-se o Vietnã com 29 milhões de sacas de 60kg, volume que representa 16,6% do que foi colhido no planeta e, em terceiro, a Colômbia que registrou 14,3 milhões de sacas colhidas e foi responsável por 8,2% da safra global (EMBRAPA, 2020). Em relação ao Brasil, 61,6 milhões de sacas de 60 kg foram produzidas, gerando mais de 673 mil toneladas de resíduos sólidos, entre cascas obtidas no beneficiamento da fase de colheita utilizando o método seco, e na fase processamento agroindustrial com a geração de pó, e película com a torrefação dos grãos de café (Dias, 2016 e Berni et al., 2018), que prescindem de uma destinação final sustentada. Neste

**ABSTRACT:** World coffee production (*Coffea arabica* and *Grevillea robusta*) in the 2018/2019 harvest reached 174.5 million 60 kg bags (ICO, 2020). For the 2018/2019 harvest, considering only the three main producing countries, Brazil has the first place that participates with 35.3% of world production. Secondly, Vietnam stands out with 29 million bags of 60 kg, a volume that represents 16.6% of what was harvested on the planet and, thirdly, Colombia which registered 14.3 million bags harvested and was responsible for 8.2% of the global harvest (EMBRAPA, 2020). In relation to Brazil, 61.6 million 60 kg bags were produced, generating more than 673 thousand tons of solid waste, between barks obtained in the processing of the harvesting phase using the dry method, and in the agro-industrial processing phase with the generation of dust, and film

with the roasting of coffee beans (Dias, 2016 and Berni et al., 2018), which need a sustained final destination. In this chapter, its main objective is to demonstrate the opportunities for the economic valuation of solid waste: bark, dust and film. To this end, it is estimated the volumes generated in the 2018/2019 harvest and the potential for energy generation and the opportunities for producing new products with high added value, under the concept of the circular economy for the Brazilian coffee agribusiness.

**KEYWORDS:** Coffee, Waste, Energy Source, Tannin Production, Environmental Mitigation.

## 1 | INTRODUÇÃO

A produtividade brasileira de café tem crescido de forma contínua como resultado do uso de técnicas de manejo para melhorar o sistema de cultivo, contrapondo-se à redução gradual de área cultivada seguindo-se com a produção de grandes quantidades de resíduos sólidos que necessitam de uma destinação final sustentada.

Mais recentemente, alternativas de destinação tem sido propostas para a agroindústria cafeeira, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental sob a ótica da economia circular.

A cadeia de valor do café é composta por quatro fases principais: cultivo, processamento, torrefação e consumo. Cada fase do processo possui questões ambientais, sociais, econômicas e de governança que afetam a sustentabilidade futura da extração do grão de café.

Entre os principais resíduos sólidos da cadeia de valor do café, tem-se no pós-colheita a polpa composta pela casca e por parte da mucilagem retirada do grão que está aderida à casca. Nas fases de processamento e torrefação tem-se como principais resíduos sólidos o pó e a película, respectivamente.

Este trabalho, tem como principal objetivo demonstrar as oportunidades de valorização econômica dos resíduos sólidos: casca, pó e película. Para tanto, estima-se os volumes gerados na safra 2018/2019 e os potenciais de geração de energia e a produção de novos produtos de alto valor agregado, sob o conceito da economia circular para agroindústria cafeeira brasileira. Os resultados obtidos, demonstram que a agroindústria brasileira possui uma janela de oportunidades a ser explorada, através do reaproveitamento econômico dos seus resíduos sólidos.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada está baseada em mapas de plantio de café georeferenciados, disponibilizados no Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), disponível em <https://inde.gov.br/Inde>, coleta de dados no site da International Coffee Organization (ICO), disponível em [http://www.ico.org/trade\\_statistics.asp.](http://www.ico.org/trade_statistics.asp.), e

na literatura afim a geração de energia com resíduos agrícolas.

A principal fonte de dados foi o banco de publicações do ISI Web of Knowledge, denominado *Web of Science*, acessada via portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) ([www.periodicos.capes.gov.br](http://www.periodicos.capes.gov.br)), a partir de parâmetros de busca tendo como palavras chaves: resíduos sólidos na agroindústria do café, reaproveitamento de resíduos sólidos, bioenergia, economia circular e bioproductos de alto valor agregado.

Bibliografias afins ao tema foram analisadas mais detalhadamente ou através de leitura de resumos disponibilizados, para a compreensão da magnitude e reflexos na evolução do estado da arte da economia circular versus resíduos sólidos e as oportunidades de biorrefinaria, anexa, ao processamento e torrefação do café, bem como de periódicos indexados devidamente referenciados.

### **3 I APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE BIOMASSA NO BRASIL**

A biomassa e seus resíduos são uma das mais promissoras fontes de energia para o desenvolvimento dos países, devido o seu grande potencial para a substituição de diversos combustíveis fósseis e produção de novos produtos, com a vantagem da sua abundância na natureza e às suas características físico-químicas. De acordo, com Nogueira et al (2015) a biomassa é considerada uma fonte de energia renovável não poluente porque a sua substituição na natureza pode ser feita sem grandes dificuldades, tem ciclo rápido comparativamente aos combustíveis fósseis que requerem milhares de anos e condições favoráveis.

O uso de fontes renováveis para produção de energia e os baixos impactos ambientais decorrentes, tem estimulado o desenvolvimento de novas tecnologias para o aproveitamento de resíduos sólidos derivados de biomassa. A utilização da biomassa para produção de energia aumentou significativamente a partir de 2010 em muitos países europeus, Estados Unidos, China, Índia e alguns outros países em desenvolvimento (Halder et al, 2014).

Em países em desenvolvimento, a contribuição da biomassa chega a mais de 90% das fontes de energia, a maior parte em forma não comercial. Isso mostra que muitas vezes a biomassa é considerada uma fonte de energia do passado, pois quando um país é industrializado ela fica relegada a segundo plano.

Observe que os recursos mundiais de biomassa são enormes, e existem várias técnicas que produzem energia de forma economicamente eficiente em vez das formas não-comerciais utilizadas por países em desenvolvimento.

O Brasil tem uma participação de 83% de sua matriz elétrica originada de fontes renováveis, de acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME, 2020). A participação é liderada pela hidrelétrica (63,8%), seguida de eólica (9,3%),

biomassa e biogás (8,9%) e solar centralizada (1,4%). A importância da biomassa não se baseia, apenas no aspecto tecnológico e ambientalmente sustentável, mas principalmente pelas questões socioeconômicas, com a geração de emprego e renda.

No Brasil as fontes renováveis de energia contribuem para uma redução maior da emissão de gases de efeito estufa (GEE), auxiliando atingir as metas dos compromissos assumidos no Acordo de Paris, na COP 21 e os Objetivos de Desenvolvimento de Sustentabilidade (ODS) da ONU. Observe que a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) possui entre suas linhas de pesquisa, uma específica com foco na bioenergia através de resíduos agrícolas.

No Brasil, a biomassa como fonte de energia possui vantagens significativas, principalmente por:

- I. diversificar a matriz energética brasileira face à dependência externa do país com relação aos combustíveis fósseis (petróleo e gás natural);
- II. contribuir para um desenvolvimento sustentável do país, em particular com a utilização de mão de obra local, principalmente na zona rural, podendo colaborar na garantia de suprimento de energia a comunidades isoladas através da geração distribuída; e
- III. apresentar vantagens ambientais quando comparada aos combustíveis fósseis, principalmente em termos de emissões de GEE.

Por outro lado, existem aspectos fundamentais e conjunturais importantes que se relacionam com a biomassa, como por exemplo:

- I. a necessidade e a oportunidade de utilização eficiente da enorme quantidade de resíduos agrícolas disponíveis no país, correspondendo a um elevado potencial de geração de energia;
- II. as perspectivas de alteração na matriz energética brasileira, substituindo combustíveis fósseis para geração termelétrica; e
- III. viabilização de projetos que utilizem a fração orgânica de resíduos como fonte de energia auxiliando na expansão da geração descentralizada no país.

#### **4 | EVOLUÇÃO ESPERADA DA PRODUÇÃO DE CAFÉ NO BRASIL 2019/2020**

A safra 2020 prevê, em quase todas as regiões produtoras de café do país, a influência da bienalidade positiva, no caso do café arábica, estimando assim uma produção maior que aquela obtida em 2019, devendo alcançar entre 57,2 milhões e 62,02 milhões de sacas beneficiadas. A área destinada a essa produção, 1.885,5 mil hectares, apresenta crescimento de 4% e o volume a ser produzido entre 15,9%

e 25,8% em relação à temporada passada (CONAB, 2020) (Figura 1).

O café arábica representa cerca de 75% da produção total de café do país. Para esta nova safra, estima-se que sejam colhidas entre 43,20 e 45,98 milhões de sacas. Tal previsão sinaliza aumento entre 26% e 34,1%, respectivamente, quando comparada à temporada anterior. A produção do conilon, na safra 2020, está estimada entre 13,95 e 16,04 milhões de sacas, representando uma variação entre redução de 7,1% e incremento de 6,8%, respectivamente, quando comparada à produção de 2019. Espírito Santo, Rondônia e Bahia são as maiores regiões produtoras do país, com destaque para a cafeicultura capixaba, que concentrou quase 70% da produção total de café conilon na última safra (CONAB, 2020).

De acordo com a CONAB (2020), o relatório de oferta e demanda de safra de café, divulgado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) de 2019, estima que a produção mundial na safra 2019/20 deverá totalizar 169.330 mil sacas, das quais 95.765 mil de café arábica e 73.565 mil da espécie robusta.

O número estimado pelo USDA é inferior em 3,04% às 174.640 mil sacas produzidas na safra passada (103.883 mil de arábica e 70.757 mil de robusta). Neste caso, o volume de produto que deixará de ser ofertado ao mercado consumidor no ano safra 2019/20 será da ordem de 5.310 mil sacas.

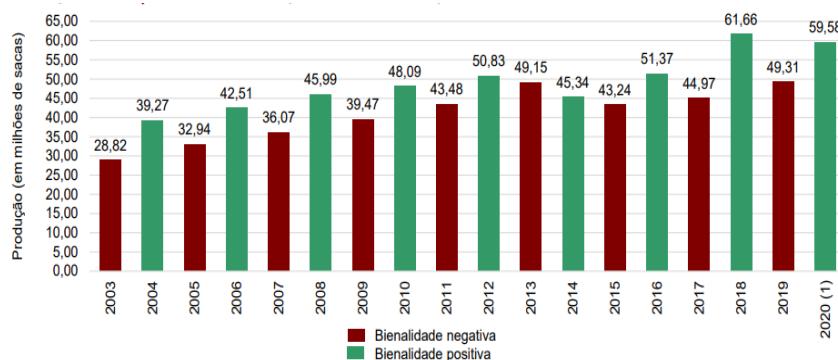


Figura 1: Produção total de café (arábica e conilon)

Fonte: CONAB (2020).

A redução na produção mundial deve-se, basicamente, à estimativa de menor desempenho da safra brasileira (avaliada por aquela entidade em 58.000 mil sacas), onde as lavouras de cafés, especialmente as do arábica, estão sob a influência do ciclo da bienalidade negativa.

## 5 I VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA PRODUÇÃO DE CAFÉ

A atividade da cafeicultura além de colaborar significativamente no desenvolvimento econômico e humano regionais, possui um grande potencial de geração de resíduos passíveis de aproveitamento econômico.

Sendo assim, a proposta do trabalho para este capítulo, fundamentou-se na identificação das etapas potencialmente geradora de resíduos, atribuindo ênfase as fases de colheita, processamento e torrefação, propondo-lhes alternativas de reutilização econômica, geração de energia e a destinação final adequada.

O principal balizador da pesquisa é o fato de que qualquer processo produtivo resulta na transformação da matéria, e por consequência, gera resíduos. Propor alternativas tecnológicas mais eficientes e menos poluentes na agroindústria cafeeira, permite visualizar a sua cadeia de valor sob o conceito da economia circular.

De uma forma geral, as agroindústrias produzem grandes quantidades de resíduos, sendo eles, líquidos, sólidos e gasosos. Sendo o café a segunda maior commodity negociada no mundo depois do petróleo, contribuiu com a geração de uma grande quantidade de resíduos.(Nabais *et al.*, 2008).

## 6 I ETAPAS DA COLHEITA, PROCESSAMENTO E TORREFAÇÃO DO CAFÉ EM GRÃOS

Depois que as bagas de café são coletadas, elas são transportadas para o beneficiamento dos grãos. Segue-se a classificação por tamanho, peso e forma. O beneficiamento é o método de conversão da fruta crua em grãos de café verdes secos. Existem dois métodos de beneficiamento: processo úmido e seco. O processo seco utiliza secagem natural ou ainda, sopradores.

O processo úmido requer muito esforço, tempo, água e, portanto, de alto custo e também, pode utilizar a secagem natural. Neste caso, tem-se a vantagem de escolha mais apurada dos grãos de café (Echeverria e Nuti, 2017). Por imersão em água; grãos ruins ou verdes flutuam e os bons grãos – maduros - afundam.

Conforme Giranda (1998) e Castoldi e Castoldi (2013) a secagem do café deve ser iniciada imediatamente após a colheita a fim de eliminar rapidamente a alta umidade da casca, polpa e mucilagem e evitar as fermentações que podem prejudicar a qualidade do grão. Independentemente do método de secagem utilizado, o que se busca é a obtenção de café com umidade entre 11 e 12% e de boa qualidade.

Para tal, alguns aspectos devem ser obedecidos, tais como: evitar fermentações indesejáveis durante o processo; evitar temperatura excessivamente elevada (o café tolera a temperatura do ar de secagem próxima a 40 °C por um ou dois dias, 50 °C por poucas horas e 60 °C por menos de uma hora); secar os grãos

no menor tempo possível até a umidade de 18% bu (base úmida); e procurar obter um produto que apresente uniformidade em coloração, tamanho e densidade (Silva et al, 2001).

Para os dois processos, a próxima etapa, pós o despolpamento dos grãos com a separação da casca e mucilagem, é o ensacamento em *big bags* e armazenamento nas agroindústrias de beneficiamento, onde deve passar pelas fases de processamento e torrefação (Figura 2).

O café verde armazenado em galpões, poderá ser exportado em grão diretamente pelo produtor ou por intermédio de cooperativas.

No Brasil está localizada a maior cooperativa do mundo a COOXUPÉ, em Guaxupé, Minas Gerais. Se não for exportado, o grão passa pela de processamento, seguindo-se para a torrefação e moagem ou para indústrias de café solúvel e de cápsulas (Conceição et al., 2017).

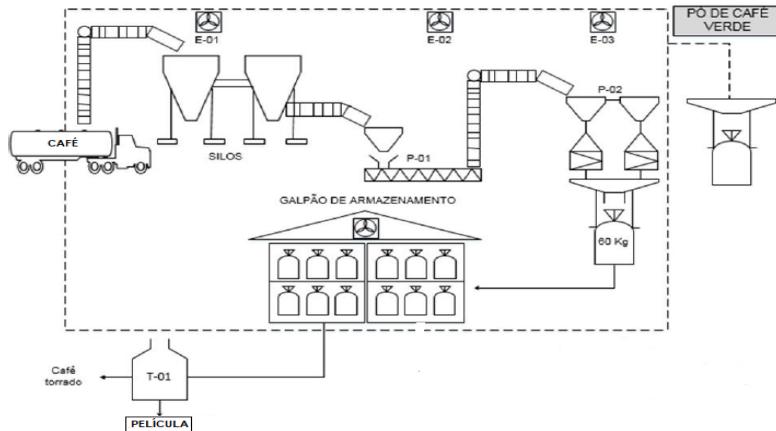


Figura 2: Fluxograma do processo de geração de resíduo sólidos nas fases de processamento e torrefação. E-01 a E-03: sistema de exaustão que recolhe o pó de café verde, P-01: peneira de separação de pedras, P-01: peneiras de classificação de tamanho e forma, T-01: torrador

Fonte: Adaptado de Pinto, M.P.M., 2017.

## 7 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A valorização das cascas do pós-colheita, pó do processamento e a película da torrefação ocorre através da geração de energia e/ou produção de bioproductos para indústria química e farmacêutica de alto valor agregado.

## 7.1 Geração de Energia

Dados da *International Energy Association* (IEA), mostram em termos prospectivos para o ano de 2030, forte penetração de resíduos devido as amplas vantagens sociais, ambientais e econômicas em se produzir calor e energia elétrica de fontes renováveis, comparativamente a fontes fósseis (IEA, 2019).

Corrobora com os indicativos da IEA, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2029, da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) referencial comparativo para as perspectivas de aproveitamento energético dos resíduos sólidos produzidos pela cafeicultura brasileira.

O PDE é um documento informativo elaborado anualmente pela EPE. Seu objetivo primordial é indicar, e não propriamente determinar, as perspectivas, sob a ótica do Governo Federal da expansão do setor de energia no horizonte de dez anos, dentro de uma visão integrada para os diversos energéticos.

Neste trabalho, seu uso permite extrair importantes elementos para o planejamento do setor de energia, com benefícios em termos de aumento de confiabilidade, redução de custos de produção e redução de impactos ambientais.

O PDE é construído com base nas dimensões mais importantes associadas ao planejamento energético: econômica, estratégica e social. Na dimensão econômica, o PDE visa a apresentar as necessidades energéticas sob a ótica do planejamento para permitir o desenvolvimento da economia nacional e, por conseguinte, a competitividade do País. Na dimensão estratégica, os estudos do PDE destacam o melhor aproveitamento dos recursos energéticos nacionais, dentro de uma visão de médio e longo prazo e encorajando a integração regional. Por fim, na dimensão social, a expansão da oferta de energia deve ser feita com acesso a toda população brasileira, e considerando seriamente os aspectos socioambientais (EPE/PDE, 2020).

De acordo com o PDE 2029, em relação à oferta interna de energia, as fontes renováveis entre 2020 e 2029, exibem um crescimento médio anual de 2,9%, destacando-se o crescimento médio de 7% a.a., incluso aí biomassa e seus resíduos. Dessa forma, estima-se o aumento do percentual de fontes renováveis na matriz energética brasileira, atingindo o patamar de 48% em 2029. Observe que em 2019 está participação foi de 46%. Destaca-se a redução da participação do petróleo e seus derivados na oferta interna total de energia, de 34% em 2019 para 32% em 2029.

Nesse contexto, a cafeicultura brasileira pode ter uma janela de oportunidades de mercado, através do uso de seus resíduos na geração de calor e energia elétrica através do biogás na rota tecnológica da digestão anaeróbica.

Análises laboratoriais das características químicas e térmicas (umidade,

materiais voláteis, cinzas e carbono fixo) mostram que o poder calorífico superior (PCS) para cascas, pó e película estão muito próximos da madeira (Pinto, 2017).

Cada quilograma de resíduo sólido produz aproximadamente um PCS de 19000 KJ/kg (Berni et al., 2018). Além disso, a análise elementar mostrou a alta concentração de carbono e hidrogênio, que estão na faixa de 45,2 a 46,9 % m/m, respectivamente, demonstrando também a existência de elevado potencial bioquímico para a geração de biogás (Pinto, 2017).

Merece destacar que o mapeamento georreferenciado da cultura do café, tende a alavancar a formação de *Bighub* de produtores com vistas a produção de energia descentralizada. Gera-se potência próximo à demanda energética com custos competitivos e ambientalmente sustentável.

## **Tecnologias de conversão**

Após a digestão anaeróbia e obtenção do biogás, existem várias opções de tecnologia de geração de energia elétrica. As máquinas térmicas mais comumente usadas nesse tipo de conversão são turbinas a gás e a vapor ou motores de combustão interna ou externa.

Os motores de combustão, que podem ser motores a diesel adaptados para o biogás, são mais populares devido a seu menor custo e maior eficiência. As turbinas a gás apresentam maior eficiência quando em cogeração, isto é, geração de energia elétrica com aproveitamento do calor residual da máquina. Dessa forma a eficiência na conversão energética pode chegar tipicamente até a 89%, comparado com 55% das melhores plantas convencionais sem reaproveitamento do calor (Ferrarez, A.H. et al., 2014).

A simples queima do biogás reduz em 21 vezes a poluição causada pelo metano (CH4) (Souza, 2006). A Figura 1 mostra um conjunto motor-gerador a diesel adaptado para o biogás, trifásico de 30 kVA ([www.biogasmotores.com.br](http://www.biogasmotores.com.br)). Neste trabalho, adotou-se como equipamento principal o motor-gerador para estimar a geração de energia elétrica.

A utilização dos conceitos de economia circular em um *Bighub*, pressupõe a implantação de uma biorrefinaria, anexa, aplicada de duas formas: i) indústrias que utilizam como matéria prima a biomassa de outros setores produtivos para conversão em energia, químicos e materiais ou ii) a própria indústria integra ao seu processo a conversão da biomassa, resultante do seu processo primário, para a produção de energia para próprio consumo e outros bioproductos de valor agregados.

## **Potencial de Geração de Energia Elétrica (PGE)**

Os parâmetros para a estimativa do potencial de geração de energia elétrica (PGE) através da equação (1), estão apresentados na Tabela1. Observe que no cálculo do PGE, para os três (3) resíduos focados considera-se que PCS são iguais.

PCS			Produção específica de resíduos sólidos		Total de resíduos sólidos (TRS) (ton/ano)	
KJ/Kg	Kcal/Kg	kWh/Kg	Trcc/Tc	Trpp/Tc	Trcc	Trpp
19.000	4.538	1,26	0,18	0,0022	665.280	8.131

Tabela 1: Parâmetros para estimar o PGE

Obs: Tc = toneladas de café

Trcc = toneladas de resíduos casca de café

Trpp = toneladas de resíduos pó e película

Tri = tonelada de resíduo sólido (i= casca ou pó+película)

$$PGE (kWh) = [PCS \left( \frac{kWh}{kg} \right) * TRS * 1000] \quad \text{equação (1)}$$

Considerando-se que o consumo médio de energia elétrica nas residências brasileiras é de aproximadamente 1900 kWh/ano, com o valor estimado através equação (1) para o PGE, da ordem de 848,5 MWh ter-se-ia a possibilidade de atendimento a aproximadamente 450 mil residências, por um ano.

No tocante a geração de energia elétrica o uso energético de resíduos sólidos da cultura do café, pode deslocar usinas termoelétricas que utilizam fontes fósseis com índices elevados de emissões de GEE.

O Sistema de Informações de Geração ANEEL (SIGA) (ANEEL, 2020), fornece em seu banco de dados a potência outorgada por tipo de combustível e as respectivas participações. Como é característica da matriz de geração elétrica brasileira, o potencial hidráulico tem uma participação de 62,5% do total de potência outorgada. Segue-se a cinética de vento (9,11%), gás natural (8,97%), bagaço de cana de açúcar (6,68%), para daí aparecer, o óleo Diesel com uma participação de 2,58% e uma potência 4.502 MW, seguido do óleo combustível e carvão mineral, respectivamente com potência de 4.051 MW e 3202 MW.

Considerando o aproveitamento energético dos resíduos sólidos da cultura do café, ter-se-ia um deslocamento de 3,0% (98,2 MW) da potência de 3202 MW obtida com o carvão mineral, minimizando o volume de emissões de NOx e impactos ambientais e saúde humana, relacionados com a permeabilidade de membranas celulares. Conforme IEMA (2016), cerca de 95% de todo o NOx advindo de fontes estacionárias, como a termoelectricidade, é emitido como óxido nítrico (NO). Esse elemento se dá de duas diferentes maneiras: NOx térmico ou NOx do combustível. O térmico é o NOx formado por reações entre o nitrogênio e o oxigênio presentes no ar e utilizados na combustão. A taxa de formação deste tipo de NOx é altamente

sensível à temperatura e sua formação torna-se rápida a partir de 1600-2000°C. O NOx do combustível resulta da utilização de combustíveis que contêm nitrogênio orgânico em sua composição, principalmente carvão mineral, óleo combustível e óleo Diesel. As emissões de NOx variam dependendo do tipo de combustível e tecnologia de combustão.

## 7.2 Produção de Bioproductos

De acordo com a Tabela 1, a cafeicultura brasileira produz anualmente aproximadamente 673,3 toneladas de resíduos sólidos entre: cascas, pó e película, que pode podem ser aproveitadas na produção de novos produtos de alto valor agregado, que não só energia.

Os maiores progressos no reaproveitamento com a valorização de resíduos sólidos da agroindústria do café, foram alcançados na sua utilização para fins industriais, como a produção de energia, a adsorção dos compostos e a fabricação de produtos industriais, como etanol, ácido giberélico e  $\alpha$ -amilase. Nos últimos anos houve um aumento na tentativa de tornar mais eficiente a utilização desses resíduos, cuja disposição no meio ambiente causa sérios problemas de poluição. Com a inovação biotecnológica na área de enzimas e tecnologia das fermentações, novas perspectivas estão sendo criadas, como a possível aplicação desses resíduos como fonte de carbono em bioprocessos para a obtenção de produtos com valor agregado (Pinto, 2017, Dias, 2016).

A cafeína extraída de resíduos sólidos de café é muito utilizada na chamada “química fina” com a produção de produtos, de diversas especialidades com alto grau de pureza e valor agregado, com o uso de tecnologias avançadas (Durán et al., 2017).

O efeito estimulante da cafeína no sistema nervoso central é bastante estudado devido à atuação como inibidor do efeito neuromodulador da adenina, substância responsável pela diminuição das taxas de descargas nervosas espontâneas, o que torna mais lenta a liberação de diversos outros neurotransmissores como o glutamato, ácido -aminobutírico, a acetilcolina e as monoaminas do cérebro. Os efeitos dessa alteração podem ser identificados por meio da agitação típica como o aumento do ritmo cardíaco, alguns vasos sanguíneos se estreitam enquanto outros se dilatam, e certos músculos se contraem mais facilmente. Devido a isso, muitos medicamentos apresentam na sua composição a cafeína, entre aqueles usados para aliviar e prevenir a asma, tratar enxaquecas, aumentar a pressão sanguínea e atuar como diurético, entre outras aplicações (Durán et al., 2017).

Especificamente na indústria química os resíduos do café têm sido usados como matéria-prima para a produção de carvão ativado para atuar como adsorvente para diferentes compostos químicos. De acordo com Durán et al. (2017)

pesquisadores da Universidade de Hong Kong desenvolveram biorrefinarias com o objetivo de reaproveitar os resíduos de café, através da ação de bactérias e fungos que degradam os carboidratos da biomassa do café em açúcares simples foi avaliada, como foco na produção do ácido succínico utilizado na fabricação de sabão em pó e bioplásticos.

Outro produto de maior valor agregado, obtido com reaproveitamento de resíduos sólidos de café são os taninos condensados. Utilizado em diversas aplicações industriais, como por exemplo, no tratamento de água, o tanino pode ser definido quimicamente como um polifenol de alto peso molecular (Almeida et al., 2014). Considerando extrato aquoso em mistura, tem-se uma produção específica para as cascas de café de 101,4 mg/100 g de casca (Carmargo, 2018), tem-se ter-se-ia uma produção anual de aproximadamente 8244 toneladas por ano.

## 8 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aproveitamento de resíduos sólidos produzidos nas atividades agrícolas tem avançado em função da conscientização social em preservar o meio ambiente e proporcionar destino adequado aos resíduos oriundos das mais diversas atividades.

Para que essa prática ocorra cada vez mais, é necessário o desenvolvimento de novos estudos, visando avaliar o potencial destes resíduos sólidos com a obtenção de concentração ideal para que além de lucrativa, seja sustentada ambientalmente.

Em geral, os resíduos sólidos do café representam um ônus ambiental. São gerados em grandes quantidades e possuem fitotóxicos e/ou antinutricionais compostos, casos da cafeína e taninos, que limitam seu uso intensivo, diretamente para aplicações de solo e alimentos. No entanto, eles podem ser uma boa fonte para extrair compostos, que por sua vez, podem ser usados para a indústria química e a produção de energia. Além disso, os resíduos do café são muito ricos em polissacarídeos e contêm proteínas e minerais, o que os torna um produto de alto valor para biotecnologia (Mussato et al., 2011).

O aproveitamento de resíduos sólidos derivados de biomassa, tem sido uma alternativa para a chamada transição energética de fontes fósseis para fontes renováveis, bem como sob a perspectiva de múltiplas opções, visando produzir novos produtos para uso na própria cadeia de valor onde são gerados os resíduos, ou ainda, como matéria prima de outros setores econômicos.

Desta forma, resultados de trabalhos como este, tem por condão, explorar alternativas de futuro de modo a aprimorar o processo de tomada de decisão em políticas energéticas e de mercado. A variedade de possibilidades e a incerteza resultante requer que o agente “decisor” evite escolhas que redundem em trajetórias tecnológicas, que se tornem mais custosas a opção de interromper sua

implementação, caso se mostrem posteriormente equivocadas, fenômeno conhecido como trancamento tecnológico.

## AGRADECIMENTOS

Ao NIPE pela estrutura física e disponibilidade de equipamentos e o suporte de seus funcionários e pesquisadores.

## REFERÊNCIAS

Almeida, D. et al., Extração de Tanino da casca de Café, XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis, Santa Catarina, 2014, 7 p.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, Sistema de Informações de Geração ANEEL (SIGA), Disponível: <https://www.aneel.gov.br/siga>, Acessado: julho 2020.

Berni, M.D. et al, Exploring opportunities in coffee crop residues: energy recovery and insertion in the energy matrix of Minas Gerais State, Brazil, Conference on Sustainable of Energy, Water and Environment Systems, SDEWES, SDEWES.LA2018.0209, Rio de Janeiro, RJ, 2018.

Camargo, G. A., Processamento de resíduos do café para obtenção de insumos e produtos, 13 Workshop em Bioeconomia, Nova Indústria da Bioeconomia, Agropolo, Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Campinas, SP, junho, 2018, 29 p.

Castoldi, Gu, Castoldi Ga, PRÉ-PROCESSAMENTO E SECAGEM DE CAFÉ, IN: Revista Varia Scientia Agrárias, V. 03, N. 02, 2013, p. 175-193.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), V. 6, SAFRA 2020, N.1, Primeiro levantamento, Disponível em: <http://www.conab.gov.br>, JANEIRO, 2020, 62 p.

Conceição, J. C. P. R. et al., Cadeia Agroindustrial do Café no Brasil: uma análise do período recente, Radar 53, 2017, 6 p.

Dias, M., Aproveitamento de resíduos do processamento de café para produção de carotenoïdes por leveduras e bactérias, Tese de Doutorado, UFLA, 2016, 121 p.

Durán, C. A. A. et al., Café: Aspectos Gerais e seu Aproveitamento para além da Bebida, Revista Virtual de Química, ISSN 1984-6835, Vol 9, No. 1, 2017, 28 p.

Echeverria, M. C., M. Nuti, Valorisation of the Residues of Coffee Agro-industry: Perspectives and Limitations, The Open Waste Management Journal, v.10, 2017, 13-22 p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Produção Mundial, Disponível: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/46165397/safra-mundial-do-ano-cafeiro-2018-2019-atinge-1745-milhoes-de-sacas#:~:text=do%20total%20global-,A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20caf%C3%A9%20em%20n%C3%ADvel%20mundial%20no%20ano%20cafeiro,milh%C3%B5es%20que%20equivale%20a%2040%25.>, Acessado: julho 2020.

EPE/PDE, Empresa de Pesquisa Energética, Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2029. Disponível: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2029>, Acessado julho 2020.

Ferrarez, A.H. et al. Potencial de Geração de Energia Térmica e Elétrica a Partir dos Resíduos da Avicultura e Suinocultura na Zona da Mata de Minas Gerais, XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Viçosa/MG, 2014.

Giranda, R. N. Aspectos qualitativos de cafés submetidos a diferentes processos de secagem. Lavras: UFLA, 1998, 83 p.

Halder P.K., Paul N., Beg M.R.A., Assessment of biomass energy resources and related technologies practice in Bangladesh. Renewable Sustainable Energy Reviews, v.39, 2014; 444–460 p.

ICO, International Coffee Organization, Statistics, Disponível: [http://www.ico.org/trade\\_statistics.asp](http://www.ico.org/trade_statistics.asp), Acessado: julho 2020.

IEA, World Energy Outlook 2016, International Energy Agency, Disponível: <http://www.worldenergyoutlook.org/>, Acessado: setembro 2019.

IEA, Instituto de Economia Agrícola (IEA), Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, DISPONIBILIDADE E UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSAMENTO AGROINDUSTRIAL DO CAFÉ, Disponível: <http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=1132>, Acessado: julho 2020.

IEMA, Instituto de Energia e Meio Ambiente, [www.energiaeambiente.org.br](http://www.energiaeambiente.org.br), Geração termoelétrica e emissões atmosféricas: poluentes e sistemas de controle, Série TERMOELETRICIDADE EM FOCO, 2016, 38 p.

MME, Ministério de Minas e Energia, Biomassa na Matriz Energética, Disponível: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira>, Acessado: julho 2020.

Mussato, S. I., A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds, Carbohydrate Polymers, Volume 83, Issue 2, January, 2011, 368-374.

Nabais, J. M. V. et al. Production of activated carbons from coffee endocarp by CO<sub>2</sub> and steam activation. **Fuel Processing Technology**, v. 89, n. 3, p. 262-268, 3/2008.

Nogueira, C. E. C., Souza, S. N. M., Micuanski, V. C., Azevedo, R. L., Exploring Possibilities of energy from vinasse biogás in the energy matrix of Paraná State, Brazil, Renewable Sustainable Energy Reviews, v.48, 2015; 300-305 p.

Pinto, M.P.M., Valorização e Aproveitamento Através da Tecnologia de Digestão Anaeróbia de Resíduos de Café, Dissertação de Mestrado, FEA, UNICAMP, 2017, 105 p.

Silva, J. S.; Sampaio, C. P.; Machado, M. C.; Lo Monaco, P. A. Preparo, secagem e armazenagem do café. In: SILVA, J. S. Secagem e armazenagem de Café: Tecnologia e Custos. Viçosa: Ed. Jard., 2001. p. 01-60.

Souza, R. G., Desempenho do conjunto motogerador adaptado a biogás, dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, Mestrado em Engenharia Agrícola, Lavras, 2006, 52 p.

[www.biogasmotores.com.br](http://www.biogasmotores.com.br) , Acessado: julho 2020.

# CAPÍTULO 3

## ANÁLISE DA VIABILIDADE DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS ADVINDOS DA MINERAÇÃO DE COBRE E OURO PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE TERRA COMPACTADA

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 01/07/2020

### Jéssica Azevedo Coelho

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia de Goiás  
Uruaçu - GO

<http://lattes.cnpq.br/7619220931918842>

### Aline Rodrigues da Silva Lira

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia de Goiás  
Uruaçu - GO

<http://lattes.cnpq.br/0936171986239596>

### Aryágilla Phaôla Ferreira da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia de Goiás  
Uruaçu - GO

<http://lattes.cnpq.br/5807779835181467>

**RESUMO:** Boa parte dos recursos extraídos da natureza são utilizados pelo setor da construção civil tanto in natura quanto nas mais diversas formas e graus de beneficiamento. Excetuando os materiais de construção cuja fonte primária é a madeira todos os outros tem a sua origem nos processos de mineração. Esse processo envolve grande produção de resíduo e sua deposição, adequada ou não, provoca grandes impactos ambientais, o que torna cada vez mais urgente a busca por maneiras de reutilizá-los. Surge, então, a ideia de utilizar este material para a fabricação de blocos ecológicos, material amplamente utilizado na construção civil principalmente em

paredes aparentes. Desta maneira, este trabalho se propôs a avaliar o desempenho de blocos produzidos com a utilização do resíduo de cobre e ouro nas proporções de 30%, 50%, 70% e 100%. Foi avaliado o desempenho das amostras produzidas quanto a resistência à compressão simples (RCS), absorção de água (AA) e análise dimensional. Ao final, observou-se que, de forma geral, a adição do resíduo provocou um acréscimo na RCS e que melhorou os índices de AA, mesmo que estes não tenham alcançado a resistência estabelecida.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mineração, resíduo, bloco ecológico, resistência à compressão simples, absorção de água.

### ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF REUSING RESIDUES FROM COPPER AND GOLD MINING FOR THE MANUFACTURE OF COMPACTED EARTH BLOCKS

**ABSTRACT:** Much of the resources extracted from nature are used by the civil construction sector both naturally and in the most diverse forms and degrees of improvement. Except for construction materials whose primary source is wood, all others have their origins in mining processes. This process involves a large production of waste and its deposition, whether appropriate or not, causes major environmental impacts, which makes the search for ways to reuse it increasingly urgent. Then, the idea arises to use this material for the manufacture of ecological blocks, a material widely used in civil construction mainly on exposed walls. In this way, this work

proposed to evaluate the performance of blocks produced with the use of copper and gold waste in the proportions of 30%, 50%, 70% and 100%. The performance of the samples produced was evaluated for resistance to simple compression (RSC), water absorption (WA) and dimensional analysis. In the end, it was observed that, in general, the addition of the residue caused an increase in the RSC and that it improved the WA indexes, even if these did not reach the established resistance.

**KEYWORDS:** Mining, waste, ecological block, simple compressive strength, water absorption.

## 1 | INTRODUÇÃO

Desde 2015, quando houve o fatídico rompimento das barragens de rejeitos localizadas no município de Mariana-MG e mais recentemente, em janeiro de 2019, com o rompimento da barragem de rejeito de Brumadinho-MG, intensificou-se os questionamentos relativos ao volume de resíduo produzido pela atividade de mineração assim como, questionamentos sobre os procedimentos de deposição adotados para estes.

Tais questionamentos encontram força na ideia de que se houvesse um maior controle do volume e forma da deposição desses materiais seria possível diminuir os impactos ambientais gerados por eles.

Seguindo este raciocínio, uma das formas de minimizar problemas causados pela deposição dos resíduos de mineração é promover a sua reciclagem. O próprio setor mineral já avalia que “cabe colocar a necessidade de projetos de P&D&I [...] para identificar novos usos para os resíduos gerados” (IBRAM, 2016, p. 13).

Tal entendimento também sofreu tentativa de materialização com o Projeto de Lei 3940 de 2015, que dispunha sobre a destinação e a disposição final dos resíduos sólidos e rejeitos da mineração e fez com que a temática fosse discutida na Comissão de Desenvolvimento Econômico da Câmara, onde a ideia era de que 25% dos resíduos sólidos de mineração fossem utilizados na produção de artefatos da construção civil. Tal demanda se amparava no fato de que as barragens são entendidas como estruturas complexas, que trazem custos permanentes e que necessitam de grande gestão de risco, o que faz com que qualquer redução de volume de rejeito reflita diretamente na redução de custo de manutenção da mesma. (CANUTO, 2017).

Esses dados corroboram para elucidar o quanto grande é o impacto ambiental gerado pela indústria da construção, impacto ambiental este definido pela NBR ISO 14001 (ABNT, 2004) como “qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização”.

Conhecendo, então, a necessidade de reduzir os impactos causados pelo depósito de resíduos gerados pela mineração, surgiu a ideia de analisar a viabilidade

da utilização desses resíduos como agregado na fabricação de blocos ecológicos.

## 1.1 O cenário da mineração no Brasil

O Brasil é o quinto país de maior extensão territorial do mundo e, dentro de suas fronteiras, é possível encontrar grande diversidade de pessoas, animais, ecossistemas e minérios. Com toda essa variedade, o país torna-se propício à existência de jazidas distintas quanto ao minério produzido.

Através do Índice de Produção Mineral (IPM), promovido pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2015), é possível analisar a variação da quantidade de minério produzida no país. Este estudo é realizado a cada semestre e comparado ao mesmo período do ano anterior, o que leva à consequente caracterização do crescimento mineral. A pesquisa relacionada ao segundo semestre de 2015 informa que a produção mineral aumentou 6,3% quando comparada ao ano de 2014.

Ainda de acordo com a pesquisa citada, este crescimento mineral “foi alcançado, sobretudo em função do aumento na quantidade produzida do minério de ferro, cobre, níquel e alumínio, além do cromo” (DNPM, 2015).

Como exemplo da grande produção de minério de cobre, além do ouro, tem-se a mina Chapada, localizada no município de Alto Horizonte (GO). A mina pertence à Mineração Maracá Indústria e Comércio (MMIC), e foi o primeiro grande empreendimento da empresa Yamana Gold no Brasil.

Segundo o IBRAM, em 2007, ano em que a Mineração Maracá entrou em operação na cidade mencionada, o Produto Interno Bruto do município apresentou um crescimento de 1267,9% quando comparado ao ano anterior. Neste período, Alto Horizonte, que estava no 177º lugar entre as cidades mais ricas do estado de Goiás, passou a ocupar a 30ª posição graças à atividade mineradora.

## 1.2 Aspectos ambientais

Diante deste cenário de grande produção de minério, tem-se como consequência a geração de resíduos também em larga escala. De acordo com o IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2012), no decênio 1996-2005, a quantidade de resíduos produzidos pela mineração aumentou de 202 milhões de toneladas para 290 milhões de toneladas e a previsão é de que, até 2030 esse valor chegue a 684 milhões de toneladas. De acordo com dados fornecidos pela MMIC, no período de 2007 a 2017 foram acumulados mais de 190 milhões de toneladas de resíduo apenas na mina Chapada.

Tentando amenizar os impactos causados, o Governo busca meios de gerenciar essa produção de resíduos. Como exemplo, temos a Resolução CONAMA nº 001 de 23 de janeiro de 1986 que estabelece em seu Art. 2º que o licenciamento para atividades transformadoras do meio ambiente dependerá da elaboração de

Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), objetivando analisar os possíveis impactos que serão causados com a instalação de um empreendimento.

No caso de uma mineradora é o EIA/RIMA que traz um diagnóstico da depredação causada, entre outros, pela deposição de resíduos. Além do EIA/RIMA, vários outros procedimentos devem ser tomados pela mineradora desde o processo de planejamento até seu fechamento.

### 1.3 Resíduo

Na atividade de mineração, existem dois tipos principais de resíduos sólidos: os estéreis e os rejeitos. Os estéreis são os materiais escavados, gerados pelas atividades de extração (ou lavra) no decapamento da mina, não têm valor econômico e ficam geralmente dispostos em pilhas. Os rejeitos são resíduos resultantes dos processos de beneficiamento a que são submetidas às substâncias minerais. (IPEA, 2012)

De acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos são divididos em:

- Resíduos Classe I: Perigosos
- Resíduos Classe II: Não Perigosos

Ainda conforme a norma citada, os resíduos de classe II ainda são subdivididos em inertes e não inertes. Para os resultados que se desejam alcançar nessa pesquisa, os resíduos inertes são mais viáveis, tendo em vista que estes são definidos como:

Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor [...]. (ABNT 10004, 2004, p. 5)

O resíduo resultante da extração de cobre e ouro feita pela mina Chapada é considerado de classe II – inerte. Após o processamento do minério, o resíduo passa pela fase de Ciclonagem que o divide de acordo com sua granulometria, resultando no underflow (resíduo com menos de 20% de partículas finas) e overflow (granulometria mais fina).

De acordo com análise feita pelo Laboratório Técnico e Engenharia LTDA (LTER) sob interesse da Mineração Maracá, a granulometria do resíduo, sendo classificado como uma areia siltosa, cujos percentuais da sua composição são: argila (0%), silte (21,05%) e areia (78,95%)

## 1.4 Bloco de terra compactada

Blocos são elementos de alvenaria utilizados através da união dos mesmos usando ou não argamassa de ligação. São dispostos em fiadas horizontais e sobrepostos uns sobre os outros formando, assim, um conjunto coeso e rígido. Entre os blocos existentes o mais usual é o bloco cerâmico, porém outros tipos podem ser encontrados no mercado como, por exemplo, o bloco de concreto e o bloco de terra compactada, também conhecido por bloco ecológico ou bloco de solo-cimento.

O bloco de terra compactada é feito utilizando uma mistura de solo e cimento, que logo em seguida é prensada e seca ao ar livre. De acordo com a NBR 10833 (ABNT, 2012), a cura ocorre por 7 dias após a moldagem dos blocos. O processo de secagem substitui a queima, como é feito no bloco cerâmico convencional, que resultaria em desmatamentos para produção de lenha e em lançamento de resíduos tóxicos no meio ambiente. Sendo assim, percebe-se que a fabricação destes blocos pode mitigar os danos ambientais causados pelas obras.

Este bloco, desde que alcance a resistência estabelecida em projeto, pode ser empregado em qualquer tipo de construção, de modo a substituir os blocos cerâmicos convencionais. Esta substituição não traz prejuízo algum para a edificação, visto que permite o uso de qualquer revestimento, assim como os blocos comuns, e ainda há possibilidade de utilização de paredes aparentes se estas possuírem tratamento adequado para proteção contra a chuva.

Seu processo de fabricação faz com que os blocos sejam dotados de dois furos internos (Figura 7) que permitem embutir as redes hidráulica e elétrica sem a necessidade de cortes na alvenaria. Ademais, traz conforto térmico, acústico e visual para a construção.



Figura 1: Bloco ecológico

Fonte: <https://www.ecycle.com.br/392-tijolo-ecologico>.

Para a fabricação desses blocos, é necessário que o solo atenda alguns critérios básicos estabelecidos na NBR 10833 (ABNT, 2012), visando a perfeita coesão com o cimento e o alcance dos parâmetros determinados pela NBR 10834 (ABNT, 2012). Sendo assim, o solo deve obedecer aos seguintes quesitos:

- 100% passando pela peneira ABNT 4,75mm;
- 10% a 50% passando pela peneira ABNT 0,075mm;
- Limite de liquidez  $\leq$  45%;
- Índice de plasticidade  $\leq$  18%.

O traço a ser utilizado para a fabricação de blocos ecológicos varia de acordo com o tipo de solo. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), solos arenosos quase sempre necessitam de quantidade menores de cimento, quando comparados a solos argilosos e siltosos. De qualquer forma, a presença de argila é necessária para permitir que o desmolde dos blocos e manuseio seja feito sem que haja danos na sua forma.

Ainda de acordo com a ABCP, para esse tipo de tijolo, devem ser evitados, solos que contenham matéria orgânica, tendo em vista que isso pode prejudicar a hidratação do cimento e então fazer com que o material não atinja a resistência esperada. Pode acontecer de um solo, por si só, não ter as características necessárias, desta forma, pode-se misturar dois ou mais tipos de solo para que o resultado se enquadre nas especificações. Toda essa caracterização dos solos deve ser feita através de ensaios laboratoriais, caso não seja possível, existem métodos práticos para essa seleção.

Segundo a NBR 10834 (ABNT, 2012), para o uso dos blocos na execução de alvenaria, estes precisam ter no mínimo 14 dias de idade e as dimensões nominais do bloco são 30x15x15 cm, porém estas podem apresentar variações. Após ensaiados, conforme determina a NBR 10836 (ABNT, 2013), as dimensões dos blocos devem obedecer a uma tolerância de  $\pm 1$ mm.

No caso de o bloco conter furos, estes devem ter seus eixos orientados perpendicularmente à face de assentamento e a parede do furo deve ter espessura mínima de 25 mm.

Existem alguns ensaios necessários para que a qualidade do bloco seja garantida, são eles: análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água. A NBR 10836 (ABNT, 2013) estabelece quais são os métodos e aparelhagem utilizados para a realização destes ensaios de forma que os blocos atendam às especificações.

## 2 | OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa foi verificar a viabilidade da incorporação de resíduo de cobre e ouro para a produção de blocos de terra compactada.

### 3 | METODOLOGIA

Haja vista que a pesquisa em questão tem um caráter essencialmente laboratorial, buscou-se amparo para os métodos nas normatizações brasileiras previstas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e outros documentos técnicos de reconhecido valor científico. O programa experimental se deu com base nos procedimentos apresentados na Figura 2 a seguir.

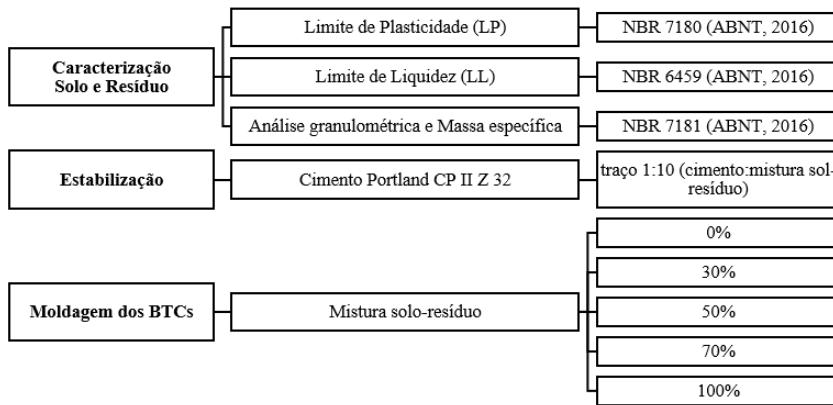


Figura 2 - Procedimentos laboratoriais

Fonte: As autoras.

Inicialmente, coletou-se o solo em um terreno na Avenida Presidente Juscelino Kubitscheck, loteamento Novo Rio, no município de Uruaçu-GO. Solo este que, após ensaios de caracterização foi classificado, por meio do Diagrama Triangular de Feret, em uma areia siltosa, cujos percentuais constituíam em argila (0%), silte (21,05%) e areia (78,95%) e massa específica de 2,74 g/cm<sup>3</sup>.

Já o resíduo, resultante da extração de cobre e ouro feita pela mina Chapada, no município de Alto Horizonte – GO, considerado de classe II – inerte, foi caracterizado como areia (Figura 3), portanto sem plasticidade. Sua massa específica foi de 2,81 g/cm<sup>3</sup>.

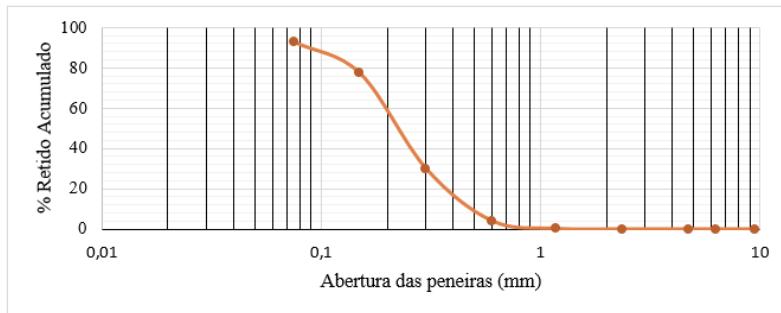


Figura 3 - Curva granulométrica do resíduo

Fonte: As autoras.

Após a caracterização, com o objetivo de atingir a máxima resistência dos BTCs, foram realizados ensaios de compactação em cada uma das misturas, para que então, estes fossem moldados com o teor de umidade ótima. Para a moldagem dos blocos, fez-se uso de uma prensa da linha Eco Brava. Os tijolos ecológicos, após a moldagem foram submetidos à secagem à sombra, por sete dias, de acordo com as recomendações da NBR 10833 (ABNT, 2012).

Para cada traço adotado foram moldados 10 BTCs, onde todos foram submetidos à análise dimensional e, posteriormente, 7 delas foram sujeitas ao ensaio de resistência à compressão simples (RCS) e as outras 3 ao ensaio de absorção de água (AA).

Em seguida foram realizados os testes de absorção de água, de resistência à compressão simples e análise dimensional, conforme NBR 10836 (ABNT, 2013), a fim de analisar as propriedades alcançadas com a utilização desta matéria-prima.

Os critérios verificados para a aceitação dos tijolos ecológicos foram os dispostos na NBR 10834 (ABNT, 2013).

## 4 | RESULTADOS

Ao se avaliar a consistência das misturas, notou-se que os percentuais de 0% e 30% obtiveram melhor comportamento, tendo em vista que os com percentuais de 50% e 70% se mostraram não plásticos e o de percentual igual a 100% nem possibilitou a aferição (Tabela 1).

Percentual de incorporação	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Índice de Plasticidade	Classificação
0%	34,49%	26,79%	7,70%	Plasticidade Mediana
30%	25,69%	11,28%	14,41%	Plasticidade Mediana
50%	22,41%	-	-	Não Plástico
70%	20,75%	-	-	Não Plástico

Tabela 1 - Consistência das misturas solo-resíduo

Pode-se observar também pelos valores de IP's, que mesmo entre os dois percentuais ditos ideais para a produção dos blocos, a mistura que consta com 30% de substituição se sobressai à de 0%, tendo em vista que seu valor se aproxima do limite de transição para misturas altamente plásticas enquanto a mistura de 0% está no outro extremo, próxima à transição para comportamentos não plásticos.

Para que os blocos pudessem se enquadrar dentro dos valores de altura comerciais, foi necessário realizar o ajuste da umidade de moldagem, conforme Gráfico 1, a seguir.

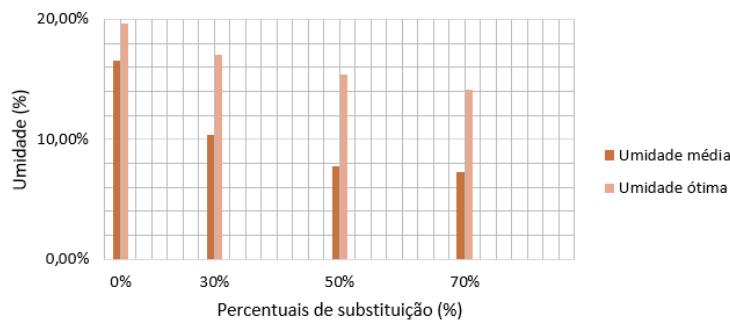


Gráfico 1 - Comparação entre as curvas de Compactação de cada % de resíduo

Fonte: As autoras.

Diante da inexistência da plasticidade promovida pelo solo, os blocos com 100% de substituição do resíduo não puderam ser moldados, se desintegravam já na tentativa de retirada da prensa (Figura 4).



(a)

(b)

Figura 4 - Bloco com 100% de resíduo (a) antes do manuseio (b) após a tentativa de manuseio

Fonte: As autoras.

Os outros blocos foram submetidos aos ensaios de compressão simples e absorção de água, apresentando os resultados demonstrados no Gráfico 2 e na Tabela 2, respectivamente.

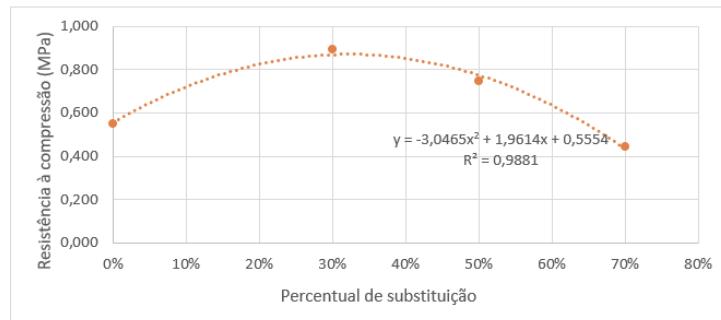


Gráfico 2 - Resistência à compressão simples média por percentual de substituição

Fonte: As autoras.

Percentual	Massa seca (g)	Massa úmida (g)	A.A. bloco (%)	A.A. média (%)
0%	2757,5	3503,4	27,050	
	2909	3638	25,060	26,075
	2833,6	3573,6	26,115	
30%	<b>3028,1</b>	<b>3671,1</b>	<b>21,234</b>	
	<b>3109,7</b>	<b>3744,6</b>	<b>20,417</b>	<b>20,961</b>
	<b>3035,4</b>	<b>3679,9</b>	<b>21,233</b>	

	3105,2	3710,9	19,506	
50%	3066,9	3692,4	20,395	20,244
	3066,3	3705	20,830	
70%	2913,4	3537,2	21,411	
	3107,3	3711,3	19,438	20,423
	3022,3	3639,4	20,418	

Tabela 2 - Absorção de Água

## 5 | CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, pode-se observar que os blocos não alcançaram a resistência estabelecida pela NBR 10834 (ABNT, 2012), porém não se pode associar isso ao fato de ter sido acrescentado o resíduo da mineração, visto que mesmo os blocos que não contêm a adição de resíduo não alcançaram os valores limites de RCS e que a adição de 30% deste material proporcionou ao bloco um acréscimo na RCS.

Além disso, foi adotado um traço inicial de 1:10 seguindo uma orientação da ABCP, visto que a norma não estabelece a quantidade de cimento adequada e não foi realizado um estudo da dosagem ideal de cimento, visto que tal estudo se tornaria inviável em relação ao tempo destinado à apresentação dos resultados obtidos.

Vários fatores podem ter influenciado os resultados, como, por exemplo, a necessidade de adaptação na prensa para a distribuição das forças, tendo em vista que, na cidade de Uruaçu, não existem prensas ideais para o rompimento de blocos.

Observando-se os testes de compactação, é possível perceber que, o solo possui baixa densidade máxima seca e que, o acréscimo do resíduo proporcionou um aumento desse valor, o que, consequentemente, aumenta a resistência inicial do solo. Porém, devido ao fato de o resíduo possuir granulometria mais fina que o solo, o acréscimo de resíduo, promoveu aumento na quantidade de finos e diminuição (percentual) da quantidade de argila presente no solo, fazendo com que a área de contato entre as partículas aumentasse, sendo necessário mais cimento para aglomerar as mesmas.

Entretanto, a adição do resíduo, proporcionou uma melhora nos índices de absorção de água, mesmo que estes não tenham alcançado o previsto pela norma. Acredita-se que, através de nova dosagem de cimento, esse teor seja reduzido.

Quanto à Análise Dimensional, a adição do resíduo não provocou alterações nos valores encontrados, mantendo, assim, a dimensão trabalhada.

Por fim, nas condições estabelecidas por esta pesquisa, o resíduo da

mineração de cobre e ouro não se apresentou como alternativa viável de incorporação nos BTCS, entretanto, sugere-se como pesquisa futura, o estudo quanto à dosagem ideal de cimento para o percentual que apresentou desempenho mais satisfatório (30%), bem como a utilização de outro solo que apresente características mais plásticas, objetivando alcançar os requisitos determinados pela NBR 10834 (ABNT, 2012).

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS - ABNT **NBR 10834**: Bloco de solo-cimento sem função estrutural: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_ . **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_ **NBR 7180**: Solo — Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_ **NBR 7181**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_ **NBR ISO 14001**: Sistemas da gestão ambiental: Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2004.

CANUTO, Luiz Cláudio. **Debatedores divergem sobre uso de resíduos sólidos da mineração na construção civil**. Brasília, 2017. Disponível em: <[encurtador.com.br/pqHOV](http://encurtador.com.br/pqHOV)>. Acesso em: 15 jun. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **INFORME MINERAL**. Brasília: Julho – Dezembro de 2015. Disponível em: <[http://www.dnpm.gov.br/dnpm/informes/informe-mineral-2\\_2015.pdf](http://www.dnpm.gov.br/dnpm/informes/informe-mineral-2_2015.pdf)>. Acesso em: 11 jun. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. **Informações sobre a economia mineral brasileira 2015**. Brasília: 2015. Disponível em: <[encurtador.com.br/yFPT2](http://encurtador.com.br/yFPT2)>. Acesso em: 11 jun. 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas: Relatório de Pesquisa**. Brasília: 2012. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120814\\_relatorio\\_atividade\\_mineracao.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120814_relatorio_atividade_mineracao.pdf)>. Acesso em: 11 jun. 2016.

# CAPÍTULO 4

## CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DOS RESÍDUOS GERADOS EM UM SHOPPING CENTER EM BALNEÁRIO CAMBORIÚ (SC)

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 06/07/2020

**Bruna Emanuele Napoli Simioni**

Universidade do Vale do Itajaí  
Itajaí – Santa Catarina

**Rafaela Picolotto**

Universidade do Vale do Itajaí  
Itajaí – Santa Catarina

**RESUMO:** A geração de resíduos atualmente, é incentivada pelo consumo e consumismo, e para impulsionar esta prática, criaram-se centros comerciais e Shopping Centers. Estes empreendimentos oferecem opções para compras, alimentação e lazer, o que atrai um grande número de pessoas fazendo com que gerem um grande número de resíduos, seja imediato ou pós-consumo. A maioria destes locais não possui um sistema de gerenciamento de resíduos, para manejar e destinar de forma adequada, que consequentemente contribui para a poluição do meio ambiente e riscos à saúde humana. Em vista disto, foi caracterizado de forma qualitativa e quantitativa os resíduos gerados em um Shopping Center, localizado em Balneário Camboriú (SC). Foram utilizados procedimentos metodológicos como análise documental, para a identificação dos estabelecimentos, *check list* e análise visual para o diagnóstico dos resíduos gerados, bem como questionários para os funcionários do shopping, Composição Gravimétrica (quarteamento)

para a caracterização dos resíduos, pesquisas a destinação final dos resíduos recicláveis gerados, com o intuito de trazer rentabilidade ao empreendimento. O empreendimento apresentou pontos desfavoráveis como na segregação, acondicionamento, identificação, ao realizar a composição gravimétrica, percebeu-se que há maior geração de resíduos no setor da alimentação, como restaurantes e praça de alimentação, sendo eles caracterizados como orgânicos. Através deste estudo, foi possível notar a falta do Plano de Gerenciamento de Resíduos, como determina na Lei nº12.305/2010, Política Nacional de Resíduos Sólidos, não estando de acordo com a legislação, desta maneira sugere-se a implantação do mesmo visando a destinação correta para os resíduos produzidos, rentabilidade e menor impacto ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gestão, Shopping Center, Resíduos Sólidos.

QUALITATIVE AND QUANTITATIVE  
CHARACTERIZATION OF THE WASTE  
GENERATED IN A MALL IN BALNEÁRIO  
CAMBORIÚ (SC)

**ABSTRACT:** The current generation of waste is encouraged by the consuming and consumerism, and to promote this practice, were created commercial centers and Shopping Mall. These enterprises offer shopping options, alimentation, and recreation which attracts a great number of people, causing them to manage a great quantity of waste, immediate or after consumption. Most of these locations don't have a residue management system to manage and destinate properly, which consequently contributes

to environmental pollution and risks to human health. In view of this, the waste generated in a Shopping Mall, located in Balneário Camboriú (SC), was characterized qualitatively and quantitatively. Were used methodological procedures as documentary analysis, to identify establishments, checklist and visual analysis for the diagnosis of waste generated, as well, questionnaires for shopping mall employees, gravimetric composition (quartering) for the characterization of waste, research related to the final destination of the recyclable residue generated, in order to bring profitability to the enterprise. The enterprise in question, presented unfavorable points like in segregation, identification, and at collection times of restaurants and shops, already the packaging in the corridors, and the collection times in the food court are favorable. Through this study, it was possible to notice the lack of the Waste Management Plan, as determined by Law No. 12,305 / 2010, National Policy on Solid Waste, not being in accordance with the legislation, thus it is suggested to implement it aiming at the correct destination of the waste produced, profitability and lower environmental impact.

**KEYWORDS:** Management, Shopping Mall, Solid Residues.

## 1 | INTRODUÇÃO

A sociedade vive em busca por uma boa qualidade de vida e, associam isto ao consumo de bens de materiais (RIBEIRO & MORELLI, 2009). Para Lima (2015), a geração de resíduos sólidos é intensificada por este consumo e, pelo desperdício dos produtos que possuem pouca durabilidade, além de acentuar a degradação dos recursos naturais. Estes desejos e vontades dos consumidores, são saciados rapidamente, o que consequentemente aumenta a geração de resíduos sólidos (DALLASTRA, 2017).

Um dos maiores exemplos de atividades consumidoras, é o Shopping Center, pois é um estabelecimento grande e moderno, onde há centralização de produtos que dá acesso ao consumo corrente (BAUDRILLARD, 2011). Conforme estudos e trabalhos, realizados sobre os resíduos sólidos gerados em Shopping Centers, como o de Steiner (2010), e Marega (2011), a maior quantidade gerada é de resíduo orgânico, e em seguida o reciclável. Portanto, se torna oportuno a reciclagem dos resíduos recicláveis que são gerados, podendo ser vendidos ou doados às cooperativas de reciclagem, transformando-os em outros materiais, ou reutilizando-os, o que consequentemente diminui a quantidade para o tratamento final, e a poluição ambiental, além de poder ser gerado arrecadação a estes empreendimentos.

Diante dos problemas expostos, se faz necessário obter o gerenciamento de resíduos sólidos em empreendimentos que geram grande volume de resíduos, sendo que a falta do mesmo, ocasiona vários impactos negativos, tanto na sociedade quanto no meio ambiente, mas para isso deve-se realizar um estudo das características destes resíduos, afim de aplicar uma boa gestão e destinação final

ambientalmente adequada.

## 2 | OBJETIVO

Caracterizar de forma qualitativa e quantitativa os resíduos gerados em um Shopping Center localizado em Balneário Camboriú (SC), afim de obter uma maior compreensão dos resíduos que são gerados e, propor destinações mais adequadas e viáveis para o empreendimento.

## 3 | METODOLOGIA

Para compreender o funcionamento de um shopping center, bem como as características e quantidades de resíduos que podem ser gerados, foi utilizado como objeto de estudo um Shopping de pequeno porte, localizado em Balneário Camboriú (SC), o qual não possui o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS).

Inicialmente, foram identificados os estabelecimentos que geram resíduos sólidos, através de uma análise documental fornecida pela administração do próprio shopping em estudo. Com base nestes dados levantados, foram realizadas vistorias para o conhecimento das atividades e serviços prestados, assim podendo obter os tipos de resíduos que são gerados na área de estudo.

Na caracterização dos resíduos sólidos gerados no estabelecimento em estudo, foram utilizadas duas metodologias, a composição gravimétrica para estimar dados qualitativos e quantitativos; e de vistorias, onde foi possível obter apenas a caracterização qualitativa dos resíduos, assim foi possível obter uma maior compreensão dos resíduos que são gerados e, propor destinações mais adequadas e viáveis para o empreendimento, seja para a venda ou para o aterro sanitário ou industrial.

A vistoria, é uma forma de realizar o levantamento de atividades que geram resíduos, e identificar possíveis resíduos que podem ser gerados (MARSARO, 2009). Foram realizadas visitas *in loco* no shopping em estudo, para o reconhecimento do local, verificação dos contentores de resíduos, e entrevistas com os funcionários. Esta metodologia, foi organizada como forma de *check list*, sendo planejada e apresentava um roteiro à ser seguido. Através desta, foi possível reconhecer o local, fazer o levantamento de todos os dados necessários e, determinar os possíveis resíduos que eram gerados em todas as atividades do shopping.

A composição gravimétrica, estima o percentual de cada classe de resíduo em relação ao peso total. Esta metodologia é importante, pois através dela será possível conhecer a quantidade de resíduos que podem ser reaproveitados e reciclados (MACHADO, 2004). A mesma, foi realizada para um cenário critico,

considerando a movimentação do shopping. A definição da data para realizar esta metodologia, foi com bases em estudos já realizados em Shopping Centers, como o de Machado (2004), onde diz que em datas especiais, aumenta o número de pessoas dentro do shopping, além de questionário feito para os funcionários, o qual interrogava quais dias do mês apresentava maior movimentação no Shopping em questão, e obteve-se que são em dias de feriados e finais de semanas. Portanto, a data definida para a realização da composição gravimétrica foi em um sábado de feriado de Páscoa, o qual se equipara com a alta temporada da cidade, visto que se trata de um local litorâneo e recebe muitos turistas.

Para a realização da composição gravimétrica, os resíduos que foram coletados durante o dia, pesados, saco por saco, com o intuito de conhecer a quantidade resíduos total geradas em 1 (um) dia, e assim realizar a amostragem para obter a porcentagem dos resíduos que poderiam ser reciclados. Para a realização da amostragem, foram pegos sacos aleatórios, de dentro do armazenamento externo, para obter uma amostragem homogênea. A quantidade de kg para a amostragem, foi de 30% da quantidade total de resíduos gerados em um dia, esta porcentagem foi com base em dados estatísticos e, identificou-se que seria um valor confiável. Após separar a quantidade de amostragem, estes resíduos foram triados.

A triagem, compreende na separação dos resíduos de acordo com suas classes, podendo ser divididas em recicláveis (metal, papel/papelão, plásticos e vidros) e não recicláveis. Nesta etapa foi triado apenas o metal, já que na vistoria feita, era o resíduo reciclável com maior geração, o restante dos resíduos foi considerado como rejeito. Após esta etapa, foi possível determinar a quantidade de resíduos que podem ser reciclados/vendidos.

O papelão por ser segregado no local de estudo, foi realizado apenas a pesagem total destes, afim de obter o quanto o shopping poderia arrecadar vendendo-o.

Foi realizado também, uma avaliação com base no Art. 19 da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), e visitas *in loco*, do manejo dos resíduos, sendo classificadas em atende; atende parcialmente e não atende.

## 4 | RESULTADOS

Na identificação dos estabelecimentos, obteve-se 128 lojas em funcionamento, sendo elas 91 lojas, e no setor de alimentação, foi identificado 34 restaurantes, e 3 no setor de Lazer.

Com a caracterização dos resíduos, obteve-se uma quantidade significativa de resíduos recicláveis, como papelão, provenientes das lojas; resíduos de metal e plástico, oriundos da praça de alimentação; porém, é gerado muito resíduo

orgânico, vindo dos restaurantes e da praça da alimentação, conforme a Figura 1. Por conseguinte, é gerado grande quantidade de rejeito, como o papel resultante do uso nos banheiros.



Figura 1: Tipos de resíduos encontrados na vistoria.

Fonte: Autoras (2019).

A quantidade de resíduos gerados no dia da pesquisa apresenta-se na Tabela 1.

Data	Resíduos com Papelão	Resíduos sem Papelão
Sábado de feriado	888,81 kg	788,4

Tabela 1: Caracterização quantitativa dos resíduos gerados no dia da pesquisa.

Fonte: Autoras (2019).

Ao analisar esta quantidade de resíduos, é possível notar a quantidade que é gerado em apenas 1 (um) dia de shopping aberto, por consequência esta quantidade de resíduos gerados causa impactos negativos para o shopping, como na maior cobrança na taxa de resíduo para a disposição final, além de impactos negativos ambientalmente.

A porcentagem de papelão gerados neste dia, foi de 11,3%. Posto que a condição do material estava boa, conforme verificado *in loco*, a venda deste seria viável.

Ao realizar a amostragem, de 30% do peso total de resíduos, foi obtido 2,91% por resíduos de metal, tratando-se a grande maioria por latas de alumínio, o qual possui alto valor econômico. O restante da amostragem, 94,96%, era representada por rejeitos, correspondendo a sua maioria por restos de comidas.

Com o intuito de vender os resíduos de papelão e de metal gerados no

Shopping em questão, foi ampliado a quantidade destes resíduos, para uma geração mensal (30 dias), como mostra a Tabela 2 a seguir:

Papelão	Metal
3012,3 kg	206,4 kg

Tabela 2: Quantidade de resíduos de metal e papelão que podem ser geradas mensalmente.

Fonte: Autoras (2019).

Assim, foi possível obter a média da quantidade de resíduos recicláveis que podem ser gerados durante 1 (um) mês, no shopping em questão, foram encontrados 206,4kg de metal e 3012,3kg de papelão mensalmente. Vale ressaltar que a análise do papelão é mais efetiva, devida a sua segregação.

Ao avaliar o shopping em estudo, conforme suas etapas de manejo, como mostra na Tabela 3, foram identificados 79% das etapas dos manejos são realizadas de forma parcial, esta consideração deve-se nas etapas, de segregação que é de forma parcial, sendo apenas dos papelões e de algumas atividades do shopping; da coleta, por obter horários inviáveis, nos contentores utilizados na coleta, por falta de identificação; e no armazenamento externo que também deveria ter uma identificação notória.

A etapa que não é atendida no manejo do shopping, que representa 7%, deve-se ao fato de não haver segregação dos resíduos que são gerados nos corredores. O restante, 14% que são atendidas no manejo, são o armazenamento interno dos resíduos, que é acessível, e o acondicionamento dos resíduos que estão em boas condições.

Requisitos	Porcentagem
Atende	14 %
Atende Parcialmente	79%
Não Atende	7%

Tabela 3: análise geral dos diagnósticos dos resíduos gerados no shopping.

Fonte: Autora (2019).

Ao realizar esta pesquisa, propõe ao objeto de estudo, que a destinação final dos resíduos recicláveis seja feita para as recicadoras que possuem o maior preço para resíduos de metal e papelão, para a obter uma renda através destes, e outra possibilidade é a doação dos mesmos para uma cooperativa como preconiza a Lei 12.305/2010. Enquanto aos resíduos não recicláveis, sugere-se que seja destinado ao aterro sanitário do próprio município.

## 5 | CONCLUSÃO

Ao caracterizar os resíduos de forma qualitativa, percebeu-se que a maior geração provém dos restaurantes e da praça de alimentação, o qual é gerado muito resíduo orgânico e, por conseguinte das lojas, pela reposição dos produtos/estoque, gerando resíduo de papelão. Pôde-se observar também que, nas atividades do shopping, não há segregação adequada de seus resíduos, fazendo com que, os resíduos que poderiam ser reciclados, sejam destinados ao aterro sanitário, diminuindo sua vida útil, além de dissipar uma geração de renda com estes resíduos que são considerados com valor econômico.

Na composição gravimétrica, percebeu-se que há grande geração de rejeito, provenientes dos restaurantes do shopping, em vista disso aconselharia que estes implantassem algum tipo de gestão da quantidade de insumos que é comprada para a preparação dos pratos/refeições, visto que há grande desperdício de comida por parte desta atividade. Em relação aos resíduos recicláveis, por não haver segregação adequada destes, muitos resíduos que poderiam ser destinados à recicadoras/cooperativas, acabando sendo inviabilizados por conta da sujeira, e são levados para o aterro sanitário, já discutindo anteriormente. Logo, os papelões que foram gerados estavam em ótimas condições, devido a segregação que é realizada, percebeu-se que estes são gerados em grandes quantidades independente do dia da semana, o que viabiliza a sua venda.

Com tudo, foi possível notar que devido a falta do PGRES no objeto de estudo, há insuficiência no manejo dos resíduos gerados, e não está em conformidade com a Lei 12.305/2010, onde diz que grandes geradores de resíduos devem possuir este instrumento. Portanto, aconselha-se ao mesmo a implementação do PGRES para haver uma boa gestão destes resíduos, além de entrar em conformidade com a legislação.

## REFERÊNCIAS

BAUDRILLARD, J. **A sociedade de consumo**. Lisboa: Edições 70, 2011. 270 p. Tradução Artur Morão.

**BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 16 set. 2018.

**DALLASTRA, A. F. A cultura de consumo e inserção social:** compreensão e sentidos na visão de acadêmicos de ciências sociais aplicadas da Universidade do Vale do Itajaí-SC. 2017. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Mestrado Profissional em Gestão de Políticas Públicas, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2017.

**LIMA, G. F. da C.** Consumo e resíduos sólidos no Brasil: as contribuições da educação ambiental. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** (online), n. 37, p.47- 57, set. 2015. Zeppelin Editorial e Comunicação. Disponível em: <[http://abes-dn.org.br/publicacoes/rbciamb/n37/RBCIAMB\\_n31\\_47-57.pdf](http://abes-dn.org.br/publicacoes/rbciamb/n37/RBCIAMB_n31_47-57.pdf)> Acesso em: 14 set. 2018.

**MACHADO, J. W. Avaliação do Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Especiais em Shopping Centers de Belo Horizonte – Minas Gerais.** 2004. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

**MAREGA, C. C. R. Diagnóstico da Geração de Resíduos Sólidos em Shopping de Médio Porte.** 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

**MARSARO, G. C. S. Plano de gerenciamento de resíduos sólidos de um shopping center de grande porte no Estado de Goiás,** Goiânia, 2009.

**RIBEIRO, D. V.; MORELLI, M. R. Resíduos Sólidos Problema ou Oportunidade?** Rio de Janeiro, 2009.

**STEINER, P. A. Gestão de resíduos sólidos em centros comerciais do município de Curitiba-PR,** Curitiba, 2010.

# CAPÍTULO 5

## DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTOR ANAERÓBIO PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ALIMENTÍCIOS

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 05/07/2020

**Tatiane Akemi Ramalho Yamashita**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP  
Guaratinguetá – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/2258479026512900>

**Isabel Cristina de Barros Trannin**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP  
Guaratinguetá – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/3320433498067620>

**Teófilo Miguel de Souza**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP  
Guaratinguetá – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/0329227262346932>

**RESUMO:** No Brasil, o grande percentual de matéria orgânica contido nos resíduos sólidos urbanos é desperdiçado pela disposição inadequada em aterros e lixões. Para que ocorram avanços na gestão de resíduos serão necessárias mudanças conceituais e adoção de medidas de aproveitamento, que minimizem seus impactos ao ambiente e à saúde pública. Este estudo teve como objetivo dimensionar um biodigestor anaeróbico, baseado no modelo chinês, visando a metanização da matéria orgânica dos resíduos alimentícios provenientes da cantina da Faculdade de Engenharia da UNESP, *campus* de Guaratinguetá, para o aproveitamento do biogás

pelo próprio estabelecimento. O biodigestor foi construído com materiais disponíveis no mercado, de baixo custo e de fácil execução e manutenção. Com a quantificação e a pesagem dos resíduos, verificou-se uma perda de cerca de 21% dos alimentos servidos no sistema de *self service* e prato feito, desconsiderando as perdas geradas na cozinha da cantina. A orientação dos funcionários para a segregação dos resíduos foi necessária para permitir o tratamento adequado da fração orgânica. Os resíduos alimentícios apresentaram grande potencial de produção de biogás, principalmente quando foram triturados previamente, mas foi identificada a necessidade da aplicação de co-digestão para melhorar a eficiência do processo. A biodigestão também produz o digestato que, após estabilizado, pode ser utilizado como biofertilizante e deve ser analisado quanto às aplicações e necessidade de pós tratamento. Também devem ser analisados os custos de construção e operação do biodigestor, considerando que o dimensionamento é realizado em função dos diferentes tipos de substratos e suas particularidades. A técnica da biodigestão contribui para a redução do volume de matéria orgânica enviada aos aterros e para a gestão adequada e descentralizada dos resíduos sólidos urbanos, além de permitir o uso do digestato como biofertilizante e do biogás como alternativa aos combustíveis fósseis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Saneamento. Gestão de Resíduos. Biomassa. Energia Renovável. Sustentabilidade.

# DIMENSIONING OF ANAEROBIC BIODIGESTER FOR BIOGAS PRODUCTION FROM FOOD WASTE

**ABSTRACT:** In Brazil, the large percentage of organic matter contained in urban solid waste is improperly disposed in landfills and dumps. For advances in waste management to occur, conceptual changes and the adoption of recovery measures will be necessary to minimize their impacts on the environment and public health. This study aimed to dimension an anaerobic biodigester, based on the Chinese model for the organic matter methanization from food waste generated in the canteen of the Faculty of Engineering – UNESP, Guaratinguetá campus, for the biogas use by the establishment itself. The biodigester was built with low-cost materials, available on the market, easy to perform and maintain. With the quantification and weighing of the residues, the loss of about 21% of the food served in the self-service and done dishes system was identified, disregarding the losses generated in the canteen kitchen. The employees orientation for segregation of the residues was necessary to allow the proper treatment of the organic fraction. Food waste showed great potential for biogas production, especially when previously crushed, but the need for the application of co-digestion to improve the process efficiency was identified. Biodegradation also produces the digestate which, once stabilized, can be used as a biofertilizer, but must be analyzed for applications and the need for post-treatment. The costs of the biodigester implementation and operation must also be analyzed, considering that the dimensioning is performed according to the different types of substrates and their particularities. The biodegradation technique contributes to reducing the volume of organic matter sent to landfills and to the proper and decentralized management of urban solid waste, in addition to allowing the use of digestate as biofertilizer and biogas as alternative to fossil fuels.

**KEYWORDS:** Sanitation. Waste Management. Biomass. Renewable Energy. Sustainability.

## 1 | INTRODUÇÃO

No Brasil, o panorama dos resíduos sólidos em 2017 relatou que os resíduos orgânicos corresponderam a 51% dos resíduos sólidos urbanos coletados e totalizaram 36,5 milhões de toneladas (ABRELPE, 2018).

Embora os resíduos orgânicos sejam biodegradáveis e promovam a ciclagem de nutrientes no solo, quando dispostos de maneira inadequada, podem representar riscos ambientais e à saúde pública, devido à geração de chorume, que pode contaminar águas e solo, à emissão de gases tóxicos e agravantes do efeito estufa, além de favorecer a proliferação de vetores de doenças.

A biodegradação anaeróbia é uma alternativa de tratamento de resíduos sólidos e líquidos, que permite a reciclagem e recuperação da fração orgânica, produzindo o digestato e o biogás, constituído em sua maior parte por metano ( $\text{CH}_4$ ) e outros gases em menores proporções (SILVA, 2014). A presença do  $\text{CH}_4$  confere ao biogás

elevado poder calorífero, permitindo seu aproveitamento como fonte de energia.

Este estudo desenvolveu um sistema de biodigestão anaeróbio, fundamentado no modelo chinês, para a produção de biogás a partir de resíduos alimentares provenientes da cantina da Faculdade de Engenharia da UNESP, campus de Guaratinguetá, visando o aproveitamento desta fonte de energia pelo próprio empreendimento.

Em lugar da construção em alvenaria foram utilizados materiais disponíveis no mercado a baixos custos, com facilidade de execução e manutenção, para que o modelo de biodigestor possa ser replicado em residências e outros empreendimentos de pequeno porte, incentivando o aproveitamento energético e o tratamento de resíduos orgânicos alimentícios.

## 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A geração de resíduos é algo inerente a qualquer atividade e está diretamente relacionada à urbanização, ao desenvolvimento econômico e ao crescimento populacional. De acordo com Kaza *et al.* (2018), em 2016 foram produzidos cerca de 2,01 bilhões de toneladas de resíduos no mundo, dos quais 44% corresponderam à fração orgânica e 33% a materiais recicláveis secos, como plástico, papel e papelão, metal e vidro.

No Brasil, estima-se que geração per capita média de resíduos sólidos seja de 0,95 kg habitante<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, com um total de 74,8 milhões de toneladas ao ano (BRASIL, 2019). Deste montante, cerca de 51% correspondem a materiais orgânicos e 32% a materiais recicláveis secos que, somados, totalizam 83% de resíduos com potencial de tratamento (IPEA, 2012).

O tratamento da matéria orgânica contida em resíduos pode ser feito por meio de processos como compostagem, incineração e digestão anaeróbia, sendo esta última, uma alternativa mais atraente e sustentável devido ao aproveitamento energético do biogás (MERSONI; REICHERT, 2017).

Os biodigestores são instalações que permitem a decomposição da matéria orgânica em meio anaeróbio, de forma controlada, em condições favoráveis e otimizadas, visando o aproveitamento dos produtos gerados pelo processo (SILVA, 2014). O processo de bioestabilização dos resíduos sólidos ocorre em estágios sucessivos, iniciando com o consumo do oxigênio presente no sistema até o estabelecimento do meio anaeróbio, em que ocorrem hidrólise, acidogênese e metanogênese, responsáveis pela transformação de compostos complexos em simples (PROSAB, 2003). Na metanogênese, o CH<sub>4</sub> é produzido pela redução do ácido acético em metano e dióxido de carbono ou pela redução do dióxido de carbono em metano e água (SOUZA; PERES, 2019).

Existem diversos modelos de biodigestores, a Figura 1 ilustra o modelo chinês, no qual a biomassa é conduzida até a câmara de fermentação cilíndrica, de teto abobadado e impermeabilizado, construído em alvenaria, operando com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que o aumento da pressão interna, resultante da degradação da matéria orgânica, provoca o deslocamento do efluente para a caixa de descarga (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

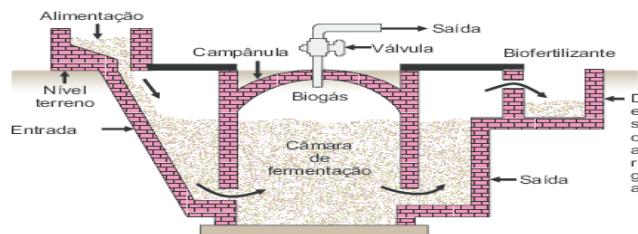


Figura 1 – Componentes e esquema de funcionamento do biodigestor no modelo chinês.

Fonte: Cassini *et al.* (2014).

Em termos gerais, o biogás é composto majoritariamente por  $\text{CH}_4$  e, em menores proporções, de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), entre outros gases e água (SILVA, 2014). Por ser pouco solúvel, o  $\text{CH}_4$  fica em estado gasoso, conferindo elevado poder calorífico ao biogás, em função das ligações químicas entre os átomos de hidrogênio e carbono (GARCILASSO *et al.*, 2010). A Tabela 1 apresenta a equivalência do biogás com outros combustíveis.

Elemento	Equivalente a 1 m <sup>3</sup> de biogás
Gasolina	0,321 – 0,613 L
Óleo diesel	0,358 – 0,533 L
Gás de cozinha (GLP)	0,454 L
Lenha	1,450 – 1,536 kg
Eletricidade	1,428 kW

Tabela 1 – Equivalência do biogás com outros combustíveis.

Fonte: Adaptado de Gaspar (2003).

Dependendo da aplicação, o biogás precisa passar por filtragem e refino, para eliminar as impurezas e remover substâncias que reduzem seu poder calorífico e conferem características corrosivas, podendo desgastar e danificar equipamentos, tubulações e peças metálicas (RORATTO *et al.*, 2014). Para a remoção de H<sub>2</sub>S, umidade, siloxanos e CO<sub>2</sub>, recomenda-se o uso de filtro de carvão ativado, que adsorve compostos de forças moleculares fracas, sendo amplamente adotado no tratamento do biogás (SOUZA; PERES, 2019).

Quanto ao digestato, a necessidade de pós-tratamento e a viabilidade de seu uso como biofertilizante após estabilização, têm sido estudadas. No Brasil, a produção, a comercialização e a utilização de biofertilizantes devem seguir as regulamentações do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

### 3 | MATERIAL E MÉTODOS

Os resíduos alimentícios estudados foram gerados pela cantina da Faculdade de Engenharia da UNESP, *campus* de Guaratinguetá (FEG/UNESP) e, segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004), são classificados como resíduos Classe II A – não perigosos e não inertes, com possibilidade de tratamento. Este estabelecimento funciona de segunda à sexta das 7h às 22h e aos sábados das 7h às 13h, servindo itens de café da manhã, almoço, lanches e jantar.

Inicialmente estes resíduos foram segregados pelos funcionários da cantina e acondicionados em um balde com tampa para impedir possíveis contaminações. Para o dimensionamento do sistema, foi realizada a pesagem dos resíduos em balança digital, durante o período de maior consumo, referente às avaliações semestrais dos alunos da faculdade e do colégio técnico, somando-se ao consumo de docentes e funcionários.

A metodologia de tratamento adotada foi a biodigestão anaeróbia, com a montagem de um sistema baseado no modelo chinês, onde os gases produzidos pelos processos bioquímicos ficam retidos na câmara de fermentação, com gasômetro fixo. A Figura 2 apresenta um esquema, contendo os componentes do biodigestor, identificados numericamente e descritos a seguir.

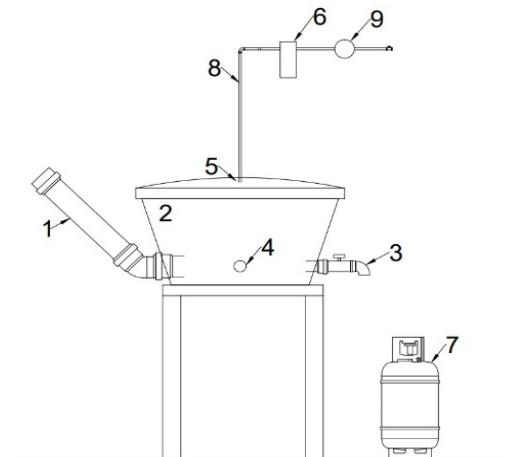


Figura 2 – Representação esquemática dos componentes do biodigestor, fundamentado no modelo chinês.

A alimentação do sistema é feita por uma tubulação de PVC de 100 mm (1), que conduz o resíduo até a caixa d'água de PVC de 150 L (2), onde ocorre a degradação anaeróbia. Foram instaladas saídas para a fase sólida e líquida do digestato, controlada por um registro esfera de 50 mm (4) e uma torneira esfera 3/4 (3), ambos em PVC. A saída do biogás (5), regulada por válvulas e registros em cobre (8), conduz os gases ao tratamento por um filtro de carvão ativado (6), podendo ser armazenado em botijão (7) por meio de um compressor. Para verificar a pressão de saída do gás, foi instalado um manômetro (9).

A caixa d'água substituiu a câmara de biodigestão, normalmente construída em alvenaria. Para garantir a vedação do sistema e gerar condições anaeróbias, foi aplicado em toda a borda superior da caixa d'água um adesivo selante de poliuretano, “PU para-brisas”, utilizado no setor automotivo para fixação de vidros em para-brisas (Figura 3). Após a secagem este selante se converte em uma borracha semi flexível que, além de vedar, permitiria a abertura da tampa do biodigestor para eventuais limpezas e manutenções. Na conexão do tubo de alimentação do biodigestor foi aplicado, interna e externamente, silicone acético de uso geral, com propriedades antifungo e antimofo (Figura 3).

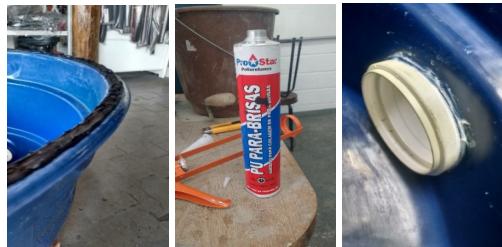


Figura 3 – Borda da caixa d’água contendo adesivo selante (esquerda e centro) e silicone acético na conexão do tubo de alimentação do biodigestor (direita).

Para a coleta da fase sólida do digestato foi conectado à caixa d’água, um registro esfera de PVC 50 mm, por meio de uma flange de PVC 50 mm. Para a coleta da fase líquida foi conectada à caixa d’água, uma torneira PVC 3/4, com a saída protegida por um filtro de *nylon* (Figura 4).



Figura 4 – Saídas para digestato (esquerda) e filtro de *nylon* na saída da fase líquida (direita).

Para analisar a composição do biogás, foi adaptada uma saída no sistema de coleta de gás (Figura 5), que em sistema comercial, não seria necessária, e o biogás seria conduzido ao filtro de carvão ativado para retirada de impurezas.



Figura 5 – Conexão do sistema de coleta do biogás à caixa d’água (esquerda) e saída adaptada para a coleta de gases antes de passar pelo filtro de carvão ativado (direita).

Os resíduos alimentícios foram introduzidos no biodigestor continuamente e, a princípio, colocados inteiros, causando obstruções durante a passagem do material pela curva do sistema de alimentação devido, principalmente, à presença de cascas de laranja. A alimentação sem pré-tratamento foi avaliada, considerando que para que os empreendimentos adotem essa prática, a operação deve ser facilitada. No entanto, para aumentar a eficiência da biodigestão e da alimentação do sistema, os resíduos foram previamente triturados, sendo utilizado um equipamento fabricado pela Trapp, no modelo TR 200, que é indicado para a trituração de galhos e podas em geral. O tamanho das partículas pode influenciar significativamente a biodigestão de resíduos alimentícios, sendo indicado algum tipo de pré-tratamento para acelerar a hidrólise, considerada a etapa limitante do processo (ZHANG *et al.*, 2019).

No início do experimento, além das pesagens, para quantificar os resíduos alimentícios adicionados no biodigestor, foi monitorada a variação do pH do efluente, por ser um parâmetro indicativo do desenvolvimento de determinados microrganismos (ROCHA, 2016). As amostras foram analisadas em um pHmetro da marca Digimed, modelo DM 20, disponível no laboratório de Química do *campus*.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de biodigestão adotado neste estudo foi fundamentado no modelo chinês, por ser mundialmente conhecido, amplamente utilizado em pequenas propriedades e por ocupar pouco espaço (Figura 6).



Figura 6 – Biodigestor construído com caixa d’água de 150 L e materiais disponíveis no mercado.

Os materiais utilizados no biodigestor foram adquiridos em lojas de materiais de construção da cidade de Guaratinguetá (SP), totalizando um custo de R\$716,80. Deste valor R\$495,16 foram aplicados no sistema de alimentação, câmara de

biodigestão e saídas do digestato e R\$221,64 em componentes do sistema de captação e tratamento do biogás.

Estes materiais também podem ser obtidos em depósitos de materiais, excedentes de obra, ferro velho, entre outros meios acessíveis à população, permitindo a redução de custos do sistema. Neste sentido, foi feita uma adaptação na conexão do tubo de alimentação à caixa d'água, com a substituição da flange de 100 mm (R\$260,00), por luvas de 100 mm (R\$10,00) cortadas, o que gerou uma economia de R\$250,00 (Figura 7).



Figura 7 – Luvas de PVC de 100 mm cortadas para conexão do tubo de alimentação à caixa d'água (esquerda) e detalhe da vedação com silicone (direita).

Os principais resíduos alimentícios coletados na cantina para abastecer o biodigestor, foram as sobras das refeições servidas e, em maior proporção, cascas de laranja utilizadas no preparo de suco. Em algumas coletas foi observada entre os resíduos alimentícios, a presença de materiais plásticos e guardanapos de papel, que foram retirados e descartados. Neste aspecto, é preciso destacar que, inicialmente, houve certa resistência dos funcionários da cantina quanto à segregação dos resíduos, por impor uma mudança de hábito no ambiente de trabalho, considerando que os resíduos alimentícios sempre foram coletados e descartados junto com diferentes resíduos sólidos. De fato, o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2010), reconhece que a implantação da coleta seletiva implica em uma profunda transformação na forma de compreender e gerenciar os resíduos, sendo necessária uma mobilização social e educação ambiental, para a sua implementação e operacionalização.

A proprietária da cantina informou que registrava, normalmente, cerca de 60 kg de refeições servidas diariamente, sendo em média 45 kg em sistema de *self service* e 15kg em prato feito, além de sanduíches, salgados, entre outros itens oferecidos. Na coleta e pesagem realizadas no período de maior consumo da cantina, referente à última semana de junho e primeira semana de julho de 2019, obteve-se uma média diária de 9,148 kg de resíduos alimentícios. Com base nesta quantidade de resíduos, optou-se por utilizar uma caixa d'água de 150 L, como câmara de biodigestão.

A alimentação do sistema foi iniciada conforme sua capacidade, dando

continuidade ao processo de segregação na fonte, coleta e pesagem, visando o controle da quantidade de material inserido e da relação de biogás gerado pelo sistema, sendo a massa total de resíduos alimentícios introduzida no biodigestor de 39,877 kg.

A partir da segunda semana de alimentação do sistema, notou-se a geração de líquidos que se condensaram e acumularam na tampa da caixa d'água, indicando que a vedação adotada não foi suficiente para gerar ambiente anaeróbio. Neste caso, é importante ressaltar que o sistema deve garantir a impermeabilidade ao ar, pois na presença de oxigênio a degradação produz CO<sub>2</sub> e dificulta o desenvolvimento dos microrganismos metanogênicos (PROSAB, 2003). Além disso, pode atrair e favorecer o desenvolvimento de insetos e larvas.

Embora o sistema tenha apresentado troca de gases com o ambiente externo, o pH do efluente permaneceu em torno de 4,0 por oito semanas, até o biodigestor ser desativado, valor coerente com o relatado pela literatura para lixiviados gerados pela biodigestão de resíduos orgânicos (PROSAB, 2003).

Na desativação do biodigestor, observou-se que os resíduos degradados permaneceram na superfície da câmara, apresentando um aspecto mais viscoso, enquanto os materiais que se acumularam no fundo, por diferença de densidade, apresentavam partículas não degradadas de alimento, indicando diferentes níveis de biodegradabilidade (Figura 8).



Figura 8 – Aspecto dos resíduos alimentícios após oito semanas no biodigestor.

O uso dos resíduos alimentícios como substrato para biodigestão tem se mostrado viável, apresentando valores de produção específica de metano, superiores aos da maioria dos resíduos orgânicos (Tabela 2). No entanto, a biodegradação destes resíduos é complexa, considerando que carboidratos, proteínas e lipídios são digeridos simultaneamente (ZHANG *et al.*, 2014).

Resíduos	Potencial Metanogênico ( $m^3 CH_4 \cdot kg SV^{-1}$ )
Frutas	0,180 - 0,732
Vegetais	0,190 - 0,400
Alimentícios	0,410 - 0,525
Esterco de suíno	0,323 - 0,568
Esterco de bovino leiteiro	0,204
Esterco de frango	0,259

Tabela 2 – Potencial metanogênico de diferentes resíduos orgânicos.

Fonte: Dados compilados da literatura.

Estudos recentes relatam que a co-digestão é uma estratégia promissora para a melhoria do desempenho da biodigestão, por aumentar a capacidade tampão, promover o equilíbrio de nutrientes e elevar os rendimentos de biogás/metano. A co-digestão consiste do uso de outras matrizes no substrato, visando reduzir o tempo de retenção dos resíduos e aumentar a eficiência do sistema (CHAN *et al.*, 2019; KIM *et al.*, 2019). Além disso, uma estratégia eficaz para aumentar a eficiência da metanização de resíduos alimentares é o uso de inoculantes e a suplementação com micronutrientes (CHAN *et al.*, 2019).

Para que a caixa d'água possa ser utilizada como câmara de biodigestão de forma bem-sucedida, recomenda-se a fixação da tampa com a caixa, sem a opção de ser destampada periodicamente para limpeza, assegurando assim, a completa vedação. Além disso, aconselha-se o aterramento do sistema, para garantir que não haja variações bruscas de temperatura, fator que interfere no desenvolvimento e na atividade microbiana, afetando diretamente a produção de  $CH_4$ . Neste caso, a retirada do digestato e as eventuais manutenções deverão ser realizadas pelos sistemas de entrada e saída acoplados à caixa d'água.

Em alternativa à caixa d'água, utilizada como câmara de biodigestão, também podem ser empregadas bombonas, que permitem condicionar o substrato em meio anaeróbio, sem a necessidade de vedação complementar. Para avaliar essa opção de câmara de biodigestão, foi implementado um sistema experimental em menor escala com uma bombona de PEAD de 50 L (Figura 9).



Figura 9 – Triturador de resíduos orgânicos (esquerda) e bombona utilizada como câmara de biodigestão (direita).

No período de execução deste experimento (novembro de 2019) verificou-se a disponibilidade de bombonas de 200 L pelo valor de R\$90,00 em depósitos de materiais de Guaratinguetá (SP), possibilitando a implementação de um sistema biodigestor, com volume superior ao da caixa d'água e com custo total de R\$600,00. Esse valor foi inferior ao do biodigestor dimensionado no presente estudo e à média dos biodigestores comercializados para uso doméstico e de pequenos geradores, com preços em torno de R\$2.500,00.

## 5 | CONCLUSÕES

A cantina da FEG/UNESP gerou em média 9 kg dia<sup>-1</sup> de resíduos alimentícios em semanas de alto consumo, que correspondeu a cerca de 21% dos alimentos servidos no sistema de *self service* e prato feito, desconsiderando as perdas no preparo das refeições e as sobras.

Os resíduos alimentícios apresentaram maior degradabilidade quando foram triturados previamente, indicando potencial de produção de biogás, mas para melhorar a eficiência e o tempo de retenção no processo, recomenda-se a utilização de co-substratos.

O custo de R\$716,80 do biodigestor dimensionado neste estudo foi inferior aos dos biodigestores comercializados para uso doméstico e de pequenos geradores, mas para a replicação do modelo proposto devem ser observadas as recomendações e sugestões apresentadas neste estudo, principalmente, quanto à necessidade de completa vedação do sistema.

O tratamento dos resíduos alimentícios da cantina por meio da biodigestão anaeróbia evitou a disposição em aterro sanitário, caracterizando-se como uma alternativa importante para a gestão adequada dos resíduos sólidos urbanos.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq-PIBITI-ISB/2019. Aos proprietários e funcionários da cantina e demais servidores da FEG/UNESP, em especial, ao Sr. Teodoro Correa Neto, pelo espírito colaborativo.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. 15. ed. São Paulo: ABRELPE. 2018. 73p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10.004/2004: resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 77p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos - 2017**. Brasília: MDR/SNIS, 2019. 194p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos**. Brasília: MMA, 2010. 75p.

CASSINI, S.T. et al. **Biogás: biocombustíveis**. In: PERLINGEIRO, C.A.G. (org.) Biocombustíveis no Brasil: fundamentos, aplicações e perspectivas. Rio de Janeiro: Synergia Editora, 2014. p.136-167.

CHAN, P.C. et al. **Improved anaerobic co-digestion of food waste and domestic wastewater by copper supplementation: microbial community change and enhanced effluent quality**. Science of The Total Environment, v.670, p.337-344, 2019.

DEGANUTTI, R. et al. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada**. Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural, 2002. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v1/031.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2020.

GARCILASSO V.P.; VELÁZQUEZ S.M.S.G.; COELHO S.T. **Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás Proveniente de Aterro Sanitário – Estudo de Caso**. XIII Congresso Brasileiro de Energia. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de Biodigestores em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com Ênfase na Agregação de Valor: Um Estudo de Caso na Região de Toledo – PR**. 2003. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos**. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009\\_relatorio\\_residuos\\_solidos\\_urbanos.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf). Acesso em: 12 out. 2019.

KAZA, S. et al. **What a Waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050**. World Bank Group. Washington, DC. 2018, 272p.

KIM, J.; KIM, J.; LEE, C. **Anaerobic co-digestion of food waste, human feces, and toilet paper: Methane potential and synergistic effect.** Fuel, v.248, p.189-195, 2019.

MERSONI, C.; REICHERT, G.A. **Comparação de cenários de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica de avaliação do ciclo de vida: o caso do município de Garibaldi, RS.** Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v.22, n.5, p.863-875, 2017.

PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO – PROSAB. **Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás.** CASSINI, S.T. (coord.). Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 210p.

ROCHA, C.M. **Proposta de implantação de um biodigestor anaeróbio de resíduos alimentares.** 2016. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

RORATTO, L. *et al.* **Análise e construção de um biodigestor para pequenas propriedades rurais.** 2014. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Horizontina, Horizontina, 2014.

SILVA, M.C.P. **Avaliação de lodo anaeróbio e dejeto bovino como potenciais inóculos para partida de digestores anaeróbios de resíduos alimentares.** 2014. 115f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SOUZA, A.; PERES, S. **Análise de viabilidade técnica e econômica da utilização do biogás produzido em uma estação de tratamento de esgoto do Recife como combustível para veículos leves.** Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v.4, n.2, p.1-9, 2019.

ZHANG, C.; SU, H.; BAEYENS, J.; TAN, T. **Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.38, p.383-392, 2014.

ZHANG, L. *et al.* **Three-stage anaerobic co-digestion of food waste and waste activated sludge: Identifying bacterial and methanogenic archaeal communities and their correlations with performance parameters.** Bioresource Technology. v.285, p. 121333, 2019.

# CAPÍTULO 6

## ESTUDO DO CONFORTO ACÚSTICO EM AMBIENTE ESCOLAR

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 07/07/2020

### Otávio Akira Sakai

Instituto Federal do Paraná  
Campus Umuarama  
Umuarama - PR

<http://lattes.cnpq.br/7555056380237240>

### Grasielle Cristina dos Santos Lembi Gorla

Instituto Federal do Paraná  
Campus Umuarama  
Umuarama - PR

<http://lattes.cnpq.br/5240339988304956>

### Rodrigo de Oliveira

Instituto Federal do Paraná  
Campus Umuarama  
Umuarama - PR

<http://lattes.cnpq.br/4279888459506696>

### Gustavo Silva Veloso de Menezes

Instituto Federal do Paraná  
Campus Umuarama  
Umuarama - PR

<http://lattes.cnpq.br/6326323685221476>

### Joyce Ronquim Wedekind

Instituto Federal do Paraná  
Campus Umuarama  
Umuarama - PR

<http://lattes.cnpq.br/8169744236258757>

**RESUMO:** Fisicamente, não existe diferença entre som e ruído, sendo que ambos são sensações produzidas no sistema auditivo.

No entanto, o ruído geralmente tem conotação negativa, e é denominado um som indesejável. Em níveis suficientemente elevados, os ruídos podem ocasionar diversos malefícios ao ser humano, como: aumento da pressão arterial, perturbação do sono, estresse, queda de desempenho intelectual, interferência com a comunicação oral, zumbido, perda de audição etc. Se em atividades cotidianas o ruído já é um fenômeno indesejável, no ambiente escolar, então a situação se agrava, já que sua atuação interfere diretamente nas atividades de ensino e aprendizagem, representando um opositor invisível às condutas didáticas. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar monitoramento acústico, através do Leq, em salas de aula e laboratórios de informática de uma instituição de ensino, verificando se os níveis de pressão sonora estão em conformidade com os limites aceitáveis, para os respectivos recintos, recomendados pelas normas brasileiras e internacionais. Os resultados demonstraram que os ambientes vazios e com aulas ultrapassam os limites permitidos, demonstrando possivelmente a falta de qualidade acústica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Laboratórios de informática; ruído; salas de aula.

### STUDY OF ACOUSTIC COMFORT IN SCHOOL ENVIRONMENT

**ABSTRACT:** Physically, there is no difference between sound and noise, both of which are sensations produced in the auditory system. However, the noise generally has a negative connotation, and it is denominated an undesirable

sound. At sufficiently high levels, the noise can cause several harm to humans, such as increased blood pressure, sleep disturbance, stress, decreased intellectual performance, interference with oral communication, tinnitus, hearing loss etc. If, in everyday activities, noise is already an undesirable phenomenon, in the school environment, then the situation is aggravated, since it is performance directly interferes with teaching and learning activities, representing an invisible opponent to didactic conduct. In this context, the present work aimed to perform acoustic monitoring, through Leq, in classrooms and computer labs of an educational institution, checking if the sound pressure levels are in accordance with the acceptable limits, for the respective enclosures, recommended by Brazilian's and international's regulations. The results demonstrated that the empty and with classes environments exceed the permitted limits, possibly demonstrating the lack of acoustic quality.

**KEYWORDS:** Computer labs; noise; classrooms.

## 1 | INTRODUÇÃO

O som é considerado uma onda mecânica que necessita de um meio para se propagar. A frequência audível está na faixa de 20 e 20k Hz. Abaixo e acima desta faixa, estão o infrassom e o ultrassom, respectivamente, e a pressão sonora limiar é de  $2 \times 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup> ou 0,00002 N/m<sup>2</sup>. Outra medida de nível de pressão sonora (NPS) usualmente utilizada é o decibel (dB), em que 0 (Zero) dB é considerado a referência de medida para os fabricantes de sonômetro, e 140 dB (que corresponde a 200 N/m<sup>2</sup>), o limiar da dor (SALIBA, 2018).

Poluição sonora é toda emissão de som que direta ou indiretamente é ofensiva ou nociva à saúde coletiva. Grande parte dos sons existentes é complexa, com diferentes ondas superpostas, como a fala, a música e os ruídos. Fisicamente, não existe diferença entre som e ruído e, desta forma, o ser humano recebe diariamente informações sonoras que podem ser potencialmente prejudiciais a sua saúde. No cotidiano, as principais fontes de poluição sonora são: automóveis, bares, carros de som, aglomerados de pessoas, máquinas industriais, canteiros de obras, vendedores ambulantes etc.

Em um ambiente escolar, as atividades rotineiras de aprendizagem também podem ser negativamente impactadas pelo nível de ruído presente nos recintos. Geralmente, em uma situação de ensino em sala de aula, o discente fica submetido a dois tipos diferentes de estímulos: o principal, representado pela fala do docente e que deve ser o foco da sua atenção (já que é responsável pela transmissão do conhecimento); e o secundário, que são os sons adversos, o qual o aluno precisa ser capaz de negligenciar, para que a explicação não seja distorcida e não comprometa o entendimento da abordagem principal. É certo que neste contexto, é preciso atentar-se para a forma como o aluno lida com tal situação, já que cada um pode referir-se

a um mesmo ruído competidor de várias formas. Enquanto alguns não percebem os sons adversos de forma tão significativa, outros podem recorrer a estratégias distintas, como desinteresse do assunto (por não compreender de modo inteligível o que está sendo dito) ou sentar-se mais à frente para acompanhar facilmente a fala do professor (DREOSSI; MOMENSOHN-SANTOS, 2005).

A oferta de uma escuta favorável ao aluno em um ambiente escolar depende de alguns fatores relevantes, como: distância entre professor e aluno, familiaridade com as palavras usuais do docente e nível de intensidade da sua fala – com capacidade de sobressair-se em relação ao ruído competidor. Além disso, ela é afetada por diversas características construtivas do próprio compartimento, como: tipo de construção, materiais construtivos, tempo de reverberação, isolamento e condicionamento acústico etc. (DREOSSI; MOMENSOHN-SANTOS, 2004).

Algumas vezes, se verifica que o ambiente não foi projetado arquitetônica e acusticamente para a finalidade de ensino. Além disso, os alunos ainda estão vulneráveis aos ruídos externos e internos ao recinto. O primeiro tipo são os ruídos de natureza distinta, provocados nas localidades próximas à escola, como tráfego, bares etc.; ou mesmo nas dependências da própria instituição, como ginásio de esportes, refeitório, entre outros. Já os ruídos internos são produzidos dentro da própria sala, como conversa paralela entre alunos, barulho do ar condicionado ou ventilador, arraste de cadeiras e carteiras (que não tenham proteção nos pés) etc. (DREOSSI; MOMENSOHN-SANTOS, 2004).

Os ruídos adversos atrapalham a concentração e a comunicação oral, podendo trazer inúmeros prejuízos físicos, emocionais e educacionais aos envolvidos. De um lado, o professor precisa elevar seu nível de voz acima do ruído para ser compreendido; e isso, com o passar dos anos, pode provocar diversos problemas de saúde, como disfonias, edemas de cordas vocais, etc. Em outra vertente, o aluno precisa ser centrado em seu objetivo, para não se desviar do foco principal durante o período letivo. Esta necessidade de manter a atenção na abordagem do conteúdo – apesar dos sons competitivos – tende a provocar cansaço no aluno, podendo ocasionar pouca assimilação da explicação do docente e, consequentemente, baixo rendimento escolar (DREOSSI; MOMENSOHN-SANTOS, 2004).

O problema de ruído em instituições de ensino parece ser um problema mundial. A OMS recomenda que o nível máximo de ruído para áreas educacionais seja de até 55 dB(A) (SINGAL, 2005 *apud* COSTA, 2015). Normas e diretrizes sobre o projeto acústico de escolas tem sido bem abrangente e discutido em vários países, como Estados Unidos (ANSI S12.60, 2010) e Reino Unido (DEPARTMENT FOR EDUCATION, 2015), que estabelecem níveis de ruído para diferentes tamanhos de sala de aula (CONNOLLY, 2019). De acordo com a norma americana ANSI S12.60 (2010), publicada em fevereiro de 2003 pela *American National Standard Institute*,

primeira norma do mundo que normatizou parâmetros acústicos em ambientes escolares, o nível de ruído permitido para uma sala de aula desocupada é de até 35 dB (A). Na Suíça, o nível indicado para ruído em uma sala de aula, também não deve ultrapassar os 35 dB (A) (KNECHT et al., 2002). No Brasil, as diretrizes da ABNT (presentes na NBR 10151 de 2000) estabelecem que as medições sejam comparadas com o nível de critério de avaliação (NCA) específico para cada caso. De forma mais específica, a NBR 10152 (1987) – que determina os níveis sonoros compatíveis com o conforto acústico de diversos tipos de ambientes – estabelece que os níveis sonoros de salas de aula e laboratórios, devem estar entre 40 – 50 dB (A). O valor inferior da faixa estabelece o nível sonoro que propicia conforto acústico ao local; e o superior, a intensidade sonora aceitável para a respectiva finalidade (NBR 10152, 1987).

Para analisar o comportamento do ruído em uma sala de aula e verificar a existência de uma condição acústica razoável – para que o processo de ensino-aprendizagem seja efetivo – é possível identificar alguns fatores acústicos, como o nível de pressão sonora equivalente ( $L_{eq}$ ), o tempo de reverberação (Tr) do recinto e o Índice de Transmissão de Fala (STI) (RABELO et al, 2006). O  $L_{eq}$  é definido como a medida de um ruído ao longo do tempo (NBR 10151). O Tr é a propagação que persiste do som no ambiente até que se alcance 60 dB, após cessada a fonte de ruído (ISO 3382-2:2008). O valor de tempo ideal para salas de aulas deve estar entre 0.4 a 0.6 s (ANSI S12.60-2010) para os americanos enquanto para os brasileiros não temos uma padronização de parâmetros acústicos até o presente momento. O STI é utilizado como parâmetro para medir a inteligibilidade da fala do locutor, nesse caso o professor. O valor pode variar de zero (0) a um (1), sendo 0 ruim e 1 excelente a inteligibilidade da fala (ISO 3382-2:2008 e IEC 60268-16, 2011).

Diante do exposto, o objetivo do estudo centrou-se em verificar o nível de pressão sonora equivalente ( $L_{eq}$ ) em ambiente escolar, considerando para isso, medições sonoras em dez salas de aula e cinco laboratórios de informática de uma instituição de ensino. Tal monitoramento foi desenvolvido em duas etapas e aconteceu em ambientes vazios e também com atividades didáticas regulares. Posteriormente, os resultados obtidos foram comparados com as diretrizes da NBR 10152 (1987) e ANSI S12.60 (2010).

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Área de Estudo

A instituição de ensino do presente estudo está localizada na cidade de Umuarama – região noroeste do Estado do Paraná – e possui cerca de 1.200 estudantes, matriculados em diferentes níveis de ensino (ensino técnico integrado

ao ensino médio, graduação e pós-graduação *Stricto Sensu*), os quais estão distribuídos em três turnos letivos. O bloco didático analisado pelo monitoramento acústico está implantado a aproximadamente 300 metros das margens da PR 323- Km 310 (Figura 1).



Figura 1 – Vista aérea da instituição de ensino, com a implantação do bloco didático do monitoramento acústico em relação à PR 323 – km 310.

Fonte: arquivo pessoal de Augusto Carlos Castro dos Santos (2018)

## 2.2 Ambientes: salas de aula e laboratórios de informática

Cada sala de aula e laboratório de informática possui dimensionamento de 8,80 m x 8,40 m. Nas salas de aula há, em média, 40 conjuntos escolares com cadeiras estofadas e carteiras unitárias, confeccionadas em aglomerado e ferro. Além disso, há um armário de duas portas de MDF, um quadro negro ou branco, um aparelho de ar condicionado (tipo Split, marca Eletrolux 60.000 btus) e cortinas tipo persiana vertical de tecido. Os laboratórios de informática possuem, em média, 40 computadores, um ar condicionado (com as mesmas especificações) e persianas verticais de tecido. As paredes de alvenaria de ambos os recintos possuem revestimento cerâmico até 1 m. Mas, a maior parte dos laboratórios e salas de aula é separada entre si por divisórias de compensado naval, que foram instaladas visando à flexibilidade de uso do espaço. Deste modo, quando há necessidade, duas salas podem ser unidas pela retirada provisória deste painel divisório.

### 2.3 Monitoramento do Nível de Pressão Sonora Equivalente (Leq)

Cada ambiente monitorado teve seu *layout* reproduzido previamente, auxiliando na indicação do posicionamento dos quatro sonômetros utilizados nas medições (modelo DDU-100, marca *Unit*). A mesma metodologia de trabalho foi utilizada para todas as salas e laboratórios. Em cada ambiente, os quatro sonômetros foram distribuídos conforme as diretrizes estabelecidas pela NBR 10151 (2000) – afastados 1,20 m do piso e 1 m de quaisquer superfícies (como paredes e móveis). Com os sonômetros devidamente regulados (modo dBA, *fast*), cada recinto teve monitoramento simultâneo nos quatro pontos, com duração total de cinco minutos. A sequência das medições acústicas ocorreu em duas fases. A primeira etapa ocorreu em julho (nos laboratórios de informática) e em novembro (nas salas de aula) de 2018, no período da manhã, sem a ocorrência de atividades didáticas. A segunda fase de medições foi em março (nas salas de aula) e abril (nos laboratórios de informática) de 2019, também no período matutino, com a diferença desta abordagem monitorar um período regular de aula, envolvendo aleatoriamente componentes curriculares de cursos técnicos do ensino médio. Em todas as medições, as janelas e portas estavam fechadas e o ar condicionado estava em funcionamento.

Após cada sequência monitorada, os dados coletados em decibéis foram transformados em  $L_{eq}$ , através da equação 1:

Os dados coletados em decibéis foram transformados em Leq através da equação 1:

$$Leq = 10 \times \log \left[ \frac{1}{T} \times \sum_{i=1}^n t_i \times 10^{\frac{Li}{10}} \right] \quad (1)$$

Onde T: Tempo total em horas; Li: NIS (Nível de Intensidade Sonora) ou NPS (Nível de Pressão Sonora) em dB; Ti: Tempo parcial em horas.

Para análise e estudo de correlações entre os ambientes vazios e com aulas regulares, foi utilizado o Teste de Correlação de Pearson, com nível de significância de 5%.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos para as salas de aula e laboratórios de informática (com e sem atividade letiva), bem como as diferenças de valores entre tais eventos, estão demonstrados na Tabela 1.

Ambiente	Leq CAA* (dB (A))	Leq SAA** (dB (A))	Diferença entre os Leq CAA e SAA (dB (A))
Sala 1	62,21	50,82	11,39
Sala 2	66,95	49,89	17,06
Sala 3	49,85	47,26	2,59
Sala 4	59,52	48,30	11,22
Sala 5	65,39	43,85	21,54
Sala 6	64,29	42,46	21,83
Sala 7	52,00	49,41	2,59
Sala 8	61,88	55,00	6,88
Sala 9	64,69	46,37	18,32
Sala 10	68,55	51,70	16,85
Laboratório 1	69,14	38,95	30,19
Laboratório 2	66,27	44,76	21,51
Laboratório 3	57,17	42,86	14,31
Laboratório 4	59,00	44,93	14,07
Laboratório 5	64,25	42,77	21,48

Tabela 1. Nível de Pressão Sonora Equivalente ( $L_{eq}$ ) medidos para as Salas de aula e Laboratórios de informática.

\*CAA – Com Atividades de Aula; \*\*SAA – Sem Atividades de Aula.

Entre os recintos analisados, sem o desenvolvimento de aula regular, o monitoramento constatou que 70% das salas de aula tiveram nível de pressão sonora próximo do permitido pela NBR 10152 (1987), que é de 50 dB (A). Apenas três salas de aula (sala 1, 8 e 10) apresentaram NPS superior à recomendação da norma brasileira. Porém, em relação ao parâmetro norte-americano estabelecido pela ANSI S12.60 (2010) – que é de 35 dB – todos os ambientes apresentaram valores superiores, mesmo sem a ocorrência de atividades letivas. De todos os recintos (sem atividade letiva), o mínimo foi de quase 39 dB no laboratório 1 (representando 8,6 % acima da diretriz americana); e o máximo, de 55 dB na sala 8 (um valor 57% superior à diretriz americana). Tais resultados podem estar associados à falta de isolamento acústico dos recintos, principalmente pela divisão dos ambientes ser realizada, na maioria das vezes, por divisórias navais e não por paredes (que possuem maior massa física, possibilitando uma melhor absorção sonora). Mesmo onde há paredes, o revestimento cerâmico, funciona como uma superfície refletora do som, fazendo com que o som emitido seja reverberado de volta. Deste modo, é provável que o barulho do ar condicionado, bem como os ruídos externos, possam ter elevado os índices sonoros internos, mesmo com os ambientes vazios.

Já no monitoramento realizado durante a ocorrência de atividades letivas, constatou-se que o nível de pressão sonora dos ambientes foi superior ao permitido pela norma brasileira (50 dB(A)), porém dentro do limite da norma norte-americana que é de 70 dB(A). Apenas a sala de aula 3 teve NPS que se aproximou do limite da NBR 10152 (1987), atingindo 49,85 dB (A). Além das características construtivas dos respectivos ambientes (relatadas anteriormente), tais dados também revelam a ausência de condicionamento acústico destes recintos, que deveria incluir materiais acusticamente apropriados, como os porosos e fibrosos. Em tais categorias incluem-se materiais como: espuma, lã de vidro ou de rocha, chapas de lã mineral, chapas a base de vermiculita, tecidos grossos etc. (GERGES, 1992).

Para uma maior compreensão sobre os níveis de pressão sonora coletados nos períodos de atividade letiva, foi calculada a diferença entre os valores obtidos com tais atividades e os valores com os ambientes vazios. Os valores entre as diferenças demonstram que o NPS médio, devido à ocorrência de aulas, é de 15,46 dB, com desvio padrão de 7,67 dB. A diferença mínima encontrada foi de 2,59 dB (na sala 3), enquanto que a máxima foi 30,19 dB (no laboratório 1). Isso mostra uma grande dispersão dos dados em torno da média. No entanto, um ambiente destinado para fins acadêmicos deveria apresentar uma pressão máxima ideal – sem a ocorrência de atividades – próxima de 20 dB, de modo que o valor não ultrapassasse o máximo quando o ambiente estiver sendo usado para aulas. Por fim, aplicando o Teste de correlação de Pearson nos dados de Leq CAA e SAA, foi obtido valores de  $r = -0,172$  e  $p = 0,541$ , o valor negativo implicou na não rejeição da hipótese nula de que a correlação entre os ambientes com atividades e sem atividades seja nula. Ou seja, não foram encontradas evidências, ao nível de confiança de 95%, que há alguma correlação entre os ambientes com e sem atividades de aula.

## 4 | CONCLUSÃO

As medições acústicas desenvolvidas nesse trabalho permitiram constatar que o nível de pressão sonora equivalente ( $L_{eq}$ ) dos ambientes investigados, durante o desenvolvimento de atividades de aula, ficou acima do permitido pela NBR 10152 (1987) e pela ANSI S12.60 (2010), com exceção de apenas uma sala de aula (com 49,85 dB (A)) que, ainda assim, quase atingiu o limite brasileiro. Em relação às salas de aula, a média dos dados superou os 61 decibéis, representando cerca de 22% acima do limite imposto pela norma brasileira e quase 75% acima do permitido pela diretriz norte-americana. Mesmo no monitoramento com ambientes vazios, algumas salas de aula apresentaram índices maiores que o permitido, chegando a atingir 55 decibéis. Em análise aos laboratórios de informática, os valores de NPS em período de atividade letiva ultrapassaram, em média, 63 decibéis, representando

aproximadamente 26% acima do estabelecido pela NBR 10152 (1987) e 80% superior ao recomendado pela ANSI S12.60 (2010).

Como a edificação de ensino analisada está implantada longe da cidade e relativamente distante da rodovia de acesso à instituição e do ginásio de esporte, isso permite pensar que as divisórias navais utilizadas para separar os respectivos ambientes não possuem boa propriedade de absorção sonora, contribuindo para os dados coletados. Se por um lado, elas permitem dinamizar o uso das salas, por outro, prejudicam o seu conforto acústico, permitindo a transmissão dos ruídos advindos dos ambientes vizinhos.

Deste modo, apesar de cada sala e laboratório já possuir cadeiras estofadas e persianas, uma das alternativas para amenizar os ruídos, seria a substituição das divisórias existentes por um tipo de painel confeccionado com material mais apropriado acusticamente, que possuísse propriedades de alta absorção (como os fibrosos ou porosos). Ou mesmo, a instalação de revestimento absorvente nestas divisórias. Além disso, seria importante a adoção de medidas que diminuíssem a reverberação dentro dos recintos. Neste sentido, poderiam ser inclusos novos elementos absorventes, como tapetes e cortinas em tecido grosso e a retirada dos revestimentos cerâmicos presentes até meia altura nas paredes de alvenaria de todas as salas. O sistema de climatização também poderia ser substituído por dispositivos mais silenciosos.

Com a adoção de medidas de adequação acústica é possível amenizar a incidência de ruídos em ambientes escolares, contribuindo para a melhor inteligibilidade da comunicação oral dentro de sala de aula e, consequentemente, aumento do rendimento escolar.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Avaliação do Ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento. Rio de Janeiro, 2000, 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987, 4 p.

Acoustical Society of America. **ANSI S12.60-2010** - American National Standard: Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools. Part 1: Permanent Schools; Melville, NY: Acoustical Society of America; 2010.

CONNOLLY, D, et al. The effects of classroom noise on the reading comprehension of adolescents. **The Journal of the Acoustical Society of America** 145, 372, 2019.

COSTA, J.J.L. Monitoramento Ambiental dos Níveis de Pressão Sonora no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Goiânia. 2015. Dissertação (Mestrado em Tecnologias de Processos Sustentáveis), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 122 p.

Department for Education (2015). **Building Bulletin 93**—Acoustic Design of Schools: Performance Standards (Department for Education/Education Funding Agency, London).

DREOSSI, R. C. F.; MOMENSOHN-SANTOS, T. M. A interferência do ruído na aprendizagem. **Revista Psicopedagogia**, v. 21 n. 64, p. 38-47, 2004. Disponível em: <<https://pubs.asha.org/>>. Acesso em: 13 junho 2020.

DREOSSI, R. C. F.; MOMENSOHN-SANTOS, T. M. O Ruído e sua interferência sobre estudantes em uma sala de aula: revisão de literatura. **Pró-Fono Revista de Atualização Científica**, Barueri (SP), v. 17 n. 2, p. 251-258, maio-ago. 2005. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/pfono/v17n2/v17n2a13.pdf>>. Acesso em: 23 junho 2020.

GERGES, S. N. Y. **Ruído, fundamentos e controle**. Santa Catarina: Biblioteca Universitária Feder, 1992.

International Electrotechnical Comission. **IEC 60268-16** – International Standard: Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index. Switzerland: IEC; 2011.

International Organization for Standardization. Acoustics: Measurement of room acoustic parameters. Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. Switzerland: **ISSO**; 2008.

KNECHT, H. A; Nelson P. B; Whittlelaw G. M.; Feth L. L. Background noise level sand reverberation times in unoccupied classrooms; predictions and measurements. **American Journal of Audiology**, v. 11: p 65-71, 2002.

RABELO ATV, Santos JN, Oliveira RC, Magalhães MC, Effect of classroom acoustics on the speech intelligibility of students, **HOLOS Environment**, v.6, n2, p.140, 2006.

SALIBA, Tuffi Messias. **Manual prático de avaliação e controle do ruído: PPRA** / Tuffi Messias Saliba. — 10. ed. — São Paulo:LTr, 2018.

# CAPÍTULO 7

## ANÁLISE TÉRMICA E ACÚSTICA DE PLACAS DE VEDAÇÃO EM COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 06/07/2020

**Bruna de Oliveira Criado**

Faculdade de Ciências e Tecnologias  
FCT UNESP

Presidente Prudente - SP  
<http://lattes.cnpq.br/2337202051262689>

**Fernando Sérgio Okimoto**

Faculdade de Ciências e Tecnologias  
FCT UNESP

Presidente Prudente - SP  
<http://lattes.cnpq.br/6072352360545981>

**RESUMO:** A busca por uma constante otimização do sistema construtivo é cada vez maior em função da necessidade de se reduzir os custos, melhorar o desempenho e minimizar os desperdícios. Portanto, este trabalho possui como proposta o estudo e investigação do compósito de matriz cimentícia com adição de resíduos de madeira, a fim da sua possível aplicação em painéis vedativos. No laboratório, os resíduos foram caracterizados e distinguidos conforme sua granulometria e composição e posteriormente, avaliou-se como diferentes incorporações destes resíduos nas placas cimentícias se comportam. Devido à reconhecida incompatibilidade química entre a madeira e o cimento, propiciada pelos materiais lignocelulósicos que retardam a cura do aglomerante mineral; avaliou-se neste trabalho a eficácia do tratamento a quente nos resíduos comparado aqueles que não foram submetidos

ao mesmo. Para isso os painéis serão avaliados de acordo com seus desempenhos térmicos e acústicos, de acordo com a NBR 15.575:2013. Em todos os ensaios realizados, as amostras em que os resíduos foram tratados obtiveram resultados satisfatórios, propiciando um isolamento térmico de três graus a mais e uma atenuação sonora 16% maior. Dessa forma, espera-se incentivar a promoção de um menor consumo energético na produção de materiais, da aplicação da reciclagem dentro da construção civil e da redução dos impactos ambientais gerados através da utilização de resíduos de fontes renováveis de matérias primas.

**PALAVRAS – CHAVE:** Madeira, resíduos de madeira, placas cimentícias, cimento-madeira, sustentabilidade.

**THERMAL AND ACOUSTIC ANALYSIS OF SEALING PLATES IN CEMENT WOOD COMPOSITE**

**ABSTRACT:** The search for a constant optimization of the construction system is increasing due to the need to reduce costs, improve performance and minimize waste. Therefore, this work proposes the study and investigation of the cement matrix composite with the addition of wood residues, in order to its possible application in sealing panels. In the laboratory, the residues were characterized and distinguished according to their granulometry and composition and later, it was evaluated how different incorporations of these residues in the cement slabs behave. Due to the recognized chemical incompatibility between wood and

cement, provided by lignocellulosic materials that delay the healing of the mineral binder; In this work, the efficacy of hot treatment on waste was evaluated compared to those that were not submitted to it. For this, the panels will be evaluated according to their thermal and acoustic performances, according to NBR 15.575:2013. In all tests carried out, the samples in which the residues were treated obtained satisfactory results, providing thermal insulation of three degrees more and a sound attenuation 16% greater. Thus, it is expected to encourage the promotion of lower energy consumption in the production of materials, the application of recycling within civil construction and the reduction of environmental impacts generated through the use of waste from renewable sources of raw materials.

**KEYWORDS:** Wood, wood waste, cementitious slabs, wood-cement, sustainability.

## 1 | INTRODUÇÃO

A utilização de materiais de construção de origem renovável na indústria da construção civil é considerada como uma opção indispensável para que essa indústria possa vir a se tornar mais sustentável. Diferentemente de muitos materiais utilizados atualmente no ramo da construção civil, as fibras vegetais são recursos renováveis e biodegradáveis, portanto, sua disponibilidade pode ser considerada ilimitada. Além disso, encontram-se geograficamente dispersas por todo o planeta. Apresentam-se menos abrasivas que as fibras artificiais usualmente utilizadas, possuindo baixa densidade e alta deformabilidade. Ademais, apresentam um baixo custo e, principalmente, devido à enorme diversidade de espécies encontrável na biodiversidade brasileira, há um enorme potencial para a descoberta de fibras naturais de acordo com as propriedades desejáveis para cada fim (resistência mecânica, estabilidade química e biológica, resistência ao fogo, leveza, resistência à abrasão e ao cisalhamento). As fibras de origem orgânica em associação com as matrizes minerais atualmente têm sido alvo de muitas pesquisas no âmbito técnico acadêmico nacional, como as desenvolvidas por BERALDO (1996), AGOPYAN (1996), SAVASTANO (2000), LATOURACA (2000).

Os painéis cimento-madeira são compostos de partículas de madeira, aglomerante mineral, água e aditivos químicos; consolidados sob pressão em temperatura ambiente. Segundo Moslemi (1974) os painéis apresentam inúmeras vantagens, tais como: produtos virtualmente incombustíveis, apresentam alta resistência à umidade e ao contato com a água, são resistentes ao ataque de agentes biológicos e são isolantes térmicos e acústicos. Um fator para a grande aplicabilidade dele no país e o que o torna competitivo perante os materiais existentes, é a grande disponibilidade de resíduos de processamento de madeiras e autossuficiência em cimento. Além disso, é um processo que não gera resíduos tóxicos, não requer pré-tratamento de conservação dos materiais utilizados e tem baixo consumo de energia. (LIMA *et al.*, 2015)

O material desenvolvido durante este trabalho, o compósito cimento-madeira, pode ser definido como uma argamassa de cimento Portland V-ARI, na qual toda a fração de agregado mineral foi substituída por um material orgânico vegetal, as partículas de madeira. Além disso, a relação água/cimento manteve-se em 0,3 e houve o acréscimo de 0,08% de superplastificante em relação ao peso do cimento.

Segundo a literatura, o emprego de fibras vegetais em matrizes cimentícias pode apresentar efeitos deletérios sobre o processo de cura do aglomerante. Sendo assim, um fator limitante para produção desses painéis é a presença de substâncias químicas, como compostos fenólicos, ácidos e açúcares que podem retardar ou impedir a cura do aglomerante mineral (SAVASTANO JUNIOR *et. al.*, 1994), (SANTOS *et al.*, 2008).

Sendo assim, este trabalho procurou explorar as disparidades entre painéis em que as fibras vegetais foram submetidas ao tratamento de imersão em água quente, tal como indicado na literatura pesquisada, e aqueles que não foram; com o objetivo de compreender como a presença das substâncias químicas nas partículas de madeira influenciavam nas propriedades físicas e mecânicas do material final.

Para a avaliação das propriedades físicas, aos 28 dias realizou o ensaio de Condutividade Térmica, seguindo as prescrições da NBR 15575/2013 que se refere ao método da placa quente/fria da ASTM C 518 (2017) e Análise Termográfica. E posteriormente, as amostras foram submetidas ao ensaio denominado Câmara Acústica (ALLAN *et al.*, 2012; ISO 10.140, 2010).

Os resultados indicam que o tratamento das partículas de madeira mostra-se muito efetivo em melhorar o desempenho físico-mecânico do produto final. O tratamento proporciona um isolamento térmico de três graus a mais e uma atenuação sonora 16% maior em relação as amostras em que os resíduos não foram tratados. Além disso, as placas de vedação apresentaram ótimos indicativos de um bom desempenho mecânico, no entanto, este trabalho se limitou na investigação das suas propriedades térmicas e acústicas.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse trabalho foram utilizados resíduos do processamento de madeiras regionais e locais, consistindo sua maior parte em *pinnus sp.*, cambará e cedrilho. Os resíduos de madeira foram obtidos na madeireira COMAVE LTDA. Para a confecção dos painéis foi utilizado o cimento CP V ARI de alta resistência inicial como aglutinante mineral e aditivo superplastificante, a fim de se diminuir a quantidade de água utilizada no processo e ajustar o tempo de pega.

Os resíduos de madeira foram caracterizados a partir dos ensaios de granulometria, com o objetivo de determinar a distribuição granulométrica deles.

A separação realizada, consistiu em: #200 (0,075mm), #100 (0,1mm), #48 (0,297mm), #42 (0,355mm) e #32 (0,5mm). A escolha destas malhas surgiu a partir da constatação de que são malhas típicas de peneiramento de agregados finos para concreto, permitindo assim, futuras comparações.

Para este plano experimental em específico, procurou investigar as placas em que os resíduos receberam o tratamento em comparação aquelas placas que os mesmos resíduos não foram tratados, procurando entender como os materiais lignocelulósicos presentes na madeira prejudicam a hidratação do cimento e como podem influenciar negativamente os resultados dos ensaios. Para isso, metade das amostras foram submetidas ao tratamento quente, visando modificar a sinergia do processo de hidratação e aumentar sua velocidade através da diminuição de água livre a ser absorvida pela biomassa vegetal.

O tratamento consistiu em um banho térmico, baseado nas pesquisas desenvolvidas por BERALDO *et al.* (1996), CAMPOS, BERALDO E HELLMEISTER (2000) e PIMENTEL E BERALDO (2000), que proporciona a lavagem de 50 gramas de fibras em imersão em um litro de água fervente durante 6 horas. Posteriormente são secas na estufa à 90°C por 24 horas. O objetivo de alta temperatura inicial é provocar a dilatação dos poros na madeira promovendo uma forçosa liberação de substâncias químicas na água. Concomitantemente, a outra metade das amostras não detinham de nenhum tratamento especial para seus resíduos.

O traço (madeira:cimento) manteve-se em 1:20 em peso, para todas as amostras; separadas em duas variações granulométricas distintas. A primeira variação granulométrica (finos) consistiu em 40% das partículas retidas na malha #200 e 60% na #100. A segunda variação granulométrica (grossos) consistiu em 60% das partículas retidas na malha #48, 30% na #42 e 10% na #32. Trabalhou-se com duas composições granulométricas diferentes, pois, como visto na literatura técnica, há indicações de partículas de menor granulometria podem promover maior índice de pega, além de diferentes granulometrias indicar diferentes aplicações industriais.

Para a confecção dos painéis, procedeu-se inicialmente com cálculo de cada um dos componentes da mistura: partículas de madeira, água, cimento e aditivo superplastificante; considerando as seguintes proporções: relação madeira:cimento de 1:20 em peso, fator água:cimento de 0,3 e 0,08% de aditivo em relação ao peso do cimento. Devidamente pesados, os componentes foram misturados em uma masseira, sendo primeiramente os secos e inserindo a água aos poucos com o aditivo diluído na mesma. A seguir, a mistura foi distribuída numa forma de chapas metálicas de 190mm x 190mm x 20mm, untada com óleo mineral para facilitar sua posterior retirada. As amostras foram submetidas ao grampeamento durante o período de 24 horas após o término da confecção dos painéis (o grampeamento consiste na

sobreposição de duas placas, uma inferior e outra superior ao corpo-de-prova). Os corpos-de-prova foram então divididos em outra variável, o nível de prensagem. Após a confecção dos painéis, estes foram submetidos a prensagem de 5 ou 10kgf/cm<sup>2</sup> por 10 minutos. Com a finalização da prensagem estes permaneceram em cura úmida por um período de 28 dias.

Com base em todas variáveis descritas, foram confeccionadas oito corpos-de-prova com variações distintas, e de cada variação foram produzidas duas amostras idênticas. A amostragem está definida na tabela 1.

Traço	Faixa Granulométrica	Traço Descritivo (Madeira: Cimento: Aditivo: Tratamento)	Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )
1A	Granulometria 1 (Finos)	1: 20: 0,08%: sem tratamento.	5 e 10
1B		1: 20: 0,08%: com tratamento.	5 e 10
2A	Granulometria 2 (Grossos)	1: 20: 0,08%: sem tratamento.	5 e 10
2B		1: 20: 0,08%: com tratamento.	5 e 10

Tabela 1 – Traços propostos para composição das placas.

Fonte: Autores, 2020.

A análise da condutividade térmica do compósito foi realizada em placas de 190mmx190mmx20mm. O procedimento de obtenção da condutividade térmica está fundamentado na análise do transporte de temperatura que passa pelo corpo-de-prova mediante a leitura das temperaturas nas faces do corpo-de-prova, ASTM C518/2017, experimento também conhecido como análise de fluxo de calor em placas quente/fria, calibrado para um aparato que segue as sugestões da ASTM C1363-19.

O aparato utilizado trata de uma câmara isolada dividida pelo corpo de prova e duas câmaras distintas em que uma delas tem a fonte de calor (Lâmpada incandescente de 40 W, spot e direcional) e ambas são instrumentadas com termopares para leituras dos fluxos de calor ao longo das subcâmaras (figura 1).

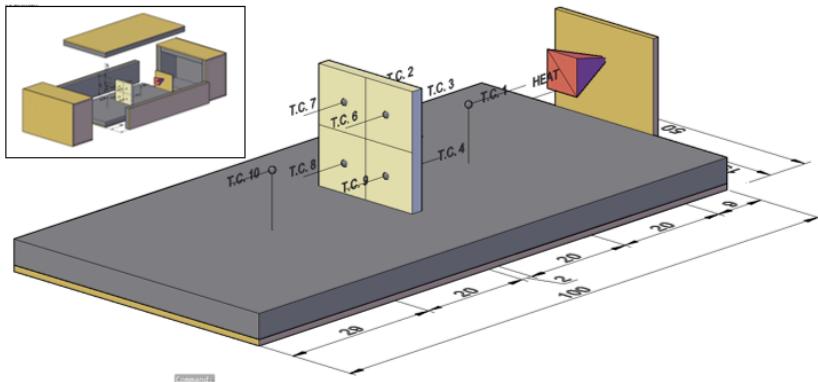


Figura 1 – Aparato para ensaio térmico (Adaptado da ASTM C518/17 e da ASTM C1363/19).

Fonte: Autores, 2020.

Os corpos-de-prova foram instrumentados com 4 termopares de cada lado, nos centroides dos seus 4 quadrantes e foi colocado um termopar entre a fonte de calor e o corpo de prova e outro termopar equidistante do corpo de prova, mas na outra subcâmara. Com essa instrumentação, foi possível obter o fluxo de temperatura, desde a geração, até depois da passagem pelo corpo de prova.

Foram anotadas as temperaturas internas e externas simultaneamente, durante um ciclo de 24 horas, através de termopares e um sistema de aquisição de dados. Os termopares são responsáveis por fazerem uma leitura por minuto do fluxo de calor através do material, durante 24 horas (sendo oito horas de aquecimento e doze de resfriamento, até alcançarem a estabilidade). Após a finalização das medições durante um ciclo de 24 horas através de um sistema de aquisição de dados foi obtido um gráfico para cada um dos corpos-de-prova.

Com a obtenção dos dados, foi realizado uma média das leituras (tabela 2) na face exposta e na face traseira, considerando o período após o início da estabilização até o início do desaquecimento (15:00 às 17:00 horas), com objetivo de quantificar o isolamento térmico entre as faces.

Já o método da análise termográfica para avaliação do desempenho térmico do material, possibilita o mapeamento de uma região a partir de certa diferença de temperatura que a superfície emite, permitindo a visualização a partir do espectro infravermelho (CORTIZO, 2007). De acordo com Tavares (2006 apud MALDAGUE, 2001), a termografia pode ser segmentada em dois tipos segundo a fonte de calor estimulante. Para o caso em específico, optou-se pela termografia ativa a qual necessita de uma fonte externa de estímulo de calor sobre o material.

A figura gerada é chamada de termograma ou imagem térmica. A emissão da

radiação infravermelha dos objetos é o que torna possível a obtenção das imagens sem contato (ITC, 2014). Segundo Tarpani et al. (2009), os termogramas exibem as diferentes temperaturas de um determinado local da amostra na forma de gradientes de coloração (escala policromática). Dessa forma, este ensaio visa apresentar a utilização da termografia infravermelha para inspecionar o comportamento das diferentes faixas granulométricas e como esses contribuem para o desempenho térmico de cada corpo-de-prova.

Para a realização do ensaio, montou-se um quadro, primeiramente com os quatro corpos-de-prova em que os resíduos não foram submetidos ao tratamento, e posteriormente fez-se o mesmo com os quatro corpos-de-prova com resíduos submetido ao tratamento. Então fotografou-se com a câmera térmica as amostras antes do aquecimento na face exposta e na face traseira. Iniciou-se então um aquecimento durante 10 (dez) minutos com auxílio de uma fonte externa, lâmpada infravermelha de 250w, posicionada no centro do quadro a 0,5 metros desse.



Figura 2 – Ensaio de Análise Termográfica

Fonte: Autores, 2020.

Para a análise da atenuação acústica utilizou-se um aparato construído em MDF (medium density fiber) revestida com poliestireno expandido, com finalidade de se evitar a dissipação do som. Neste aparato as amostras foram submetidas ao ensaio denominado Câmara Acústica (ALLAN et al., 2012; ISO 10.140, 2010), o qual consiste no posicionamento de dois corpos-de-prova com variáveis idênticas a uma distância de 1,25 metros de um emissor sonoro, já que a literatura indica uma distância mínima de estabilização das ondas sonoras de 3 vezes o maior lado do corpo-de-prova.

Na face frontal desses, posiciona-se uma fonte receptora, assim como em suas faces traseiras. Então emite-se um som conhecido (designou-se para esta análise frequências de 250, 1000 e 4000 Hz durante um minuto, o qual será

propagado através do material, e quantificado no receptor frontal e no receptor traseiro, obtendo-se assim a atenuação acústica propiciada pelo material. Segundo Carvalho (2006), o ouvido humano não percebe sons de frequências diferentes da mesma forma, sendo a percepção como região média a frequência em 1000Hz. A partir disso, decidiu observar o comportamento do material perante um som de frequência média, outro grave e outro agudo. A figura, a seguir, apresenta o aparato sem a tampa.

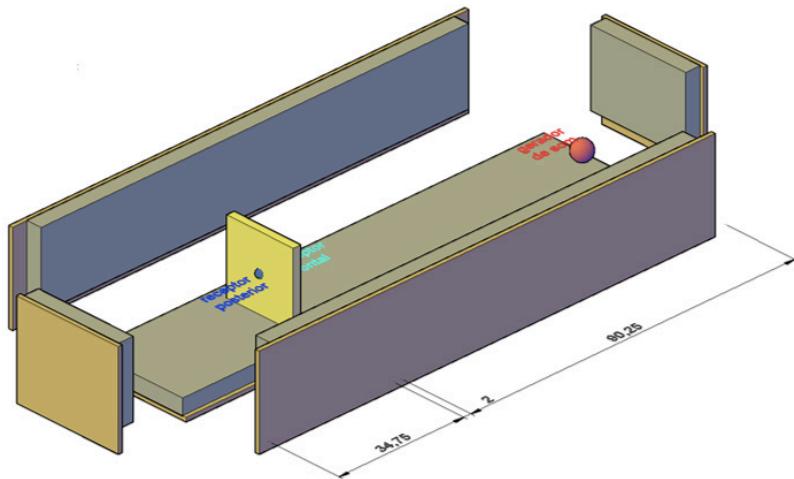


Figura 3 – Aparato Acústico

Fonte: Autores, 2020.

### 3 | RESULTADOS

Os resultados do ensaio de condutividade térmica foram obtidos através de um gráfico, conforme indica a figura 4. Posteriormente, para melhor interpretação e identificação dos resultados, elaborou-se a tabela 2. As amostras foram separadas em dois grupos distintos, sendo o primeiro grupo das amostras em que os resíduos não receberam tratamento; e o segundo, aqueles que receberam.

### ENSAIO TÉRMICO: Granulometria 2, Pressão 5kgf/cm<sup>2</sup>, Lâmpada de 40W

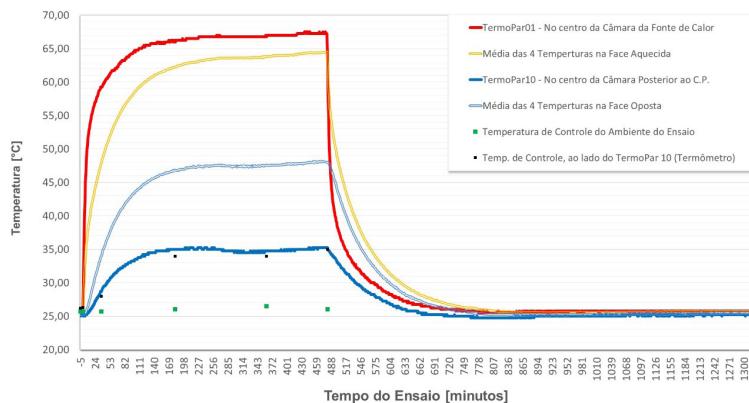


Figura 4 – Exemplo de um gráfico obtido no ensaio de condutividade térmica.

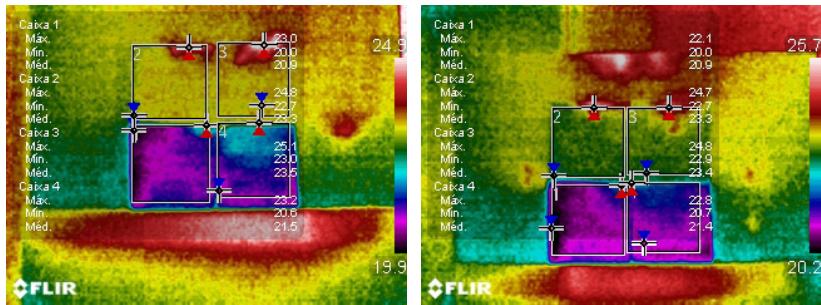
Fonte: Autores, 2020.

		Temperatura Média Face Exposta	Temperatura Média Face Traseira	Diferença de Temperatura
Sem Tratamento	G1P5	56,1 °C	48,9 °C	7,2 °C
	G1P10	57,1 °C	46,6 °C	10,5 °C
	G2P5	64,1 °C	52,7 °C	11,4 °C
	G2P10	60,1 °C	46,5 °C	13,7 °C
Com Tratamento	G1P5	60,2 °C	45,7 °C	14,5 °C
	G1P10	58,9 °C	49,5 °C	9,4 °C
	G2P5	57,3 °C	39,3 °C	18,0 °C
	G2P10	60,2 °C	46,4 °C	13,9 °C

Tabela 2 – Condutividade Térmica: Média da leitura das temperaturas dos CPs no período de estabilização (15h00 às 17h00)

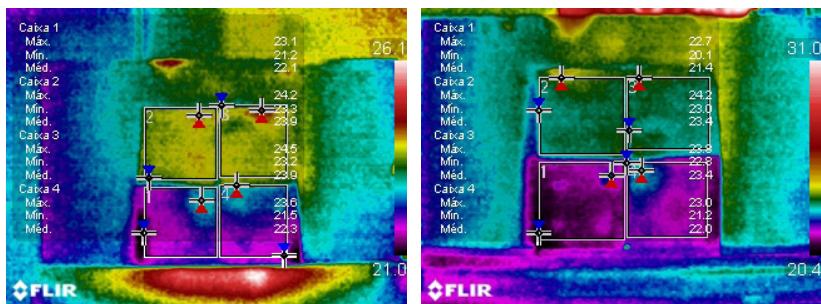
Fonte: Autores, 2020.

Na tabela, G1 é utilização para denominar a faixa granulométrica de finos (#100 e #200), enquanto G2, a de grossos (#32, #42 e #48). O nível de pressão estipulado em cada amostra está designado através da letra P consequente do nível de pressão exercido para denominação de cada amostra. Os resultados obtidos na análise termográfica encontram-se dispostos na tabela 3. As nomenclaturas das amostras seguem o mesmo padrão do ensaio de condutividade térmica e é estabelecido como padrão para todos os demais. Diferentemente do ensaio de condutividade térmica, a análise termográfica quantifica o ganho do calor do material em um curto período de tempo.



Figuras 5 e 6 – Termogramas das faces dos CPs antes do aquecimento.

Fonte: Autores, 2020.



Figuras 7 e 8 – Termogramas das faces dos CPs após o aquecimento.

Fonte: Autores, 2020.

		Temperatura Média Face Exposta	Temperatura Média Face Traseira	Diferença de Temperatura
Sem Tratamento	G1P5	22,1 °C	21,4 °C	0,7 °C
	G1P10	23,9 °C	23,4 °C	0,5 °C
	G2P5	23,9 °C	23,4 °C	0,5 °C
	G2P10	22,3 °C	22,0 °C	0,3 °C
Com Tratamento	G1P5	22,2 °C	22,1 °C	0,1 °C
	G1P10	22,2 °C	22,0 °C	0,2 °C
	G2P5	22,1 °C	21,9 °C	0,2 °C
	G2P10	22,1 °C	22,0 °C	0,1 °C

Tabela 3 – Análise Termográfica: Resultados da diferença de temperatura entre as faces após aquecimento de 10 minutos.

Fonte: Autores, 2020.

Posteriormente, após o término do ensaio de atenuação sonora, os dados foram dispostos na tabela 4, a qual segue a mesma disposição utilizada para os ensaios térmicos.

		Atenuação Sonora 250Hz	Atenuação Sonora 1000Hz	Atenuação Sonora 4000Hz
<b>Sem Tratamento</b>	G1P5	18,6 dB (red. de 25%)	20,0 dB (red. de 24%)	26,9 dB (red. de 30%)
	G1P10	18,9 dB (red. de 26%)	20,7 dB (red. de 24%)	23,7 dB (red. de 27%)
	G2P5	11,1 dB (red. de 15%)	22,2 dB (red. de 26%)	32,3 dB (red. de 41%)
	G2P10	18,9 dB (red. de 26%)	18,9 dB (red. de 23%)	23,4 dB (red. de 28%)
<b>Com Tratamento</b>	G1P5	39,6 dB (red. de 53%)	36,3 dB (red. de 49%)	33,9 dB (red. de 37%)
	G1P10	31,1 dB (red. de 42%)	24,5 dB (red. de 34%)	25,5 dB (red. de 31%)
	G2P5	31,1 dB (red. de 42%)	33,3 dB (red. de 45%)	42,2 dB (red. de 46%)
	G2P10	33,3 dB (red. de 45%)	37,8 dB (red. de 51%)	34,5 dB (red. de 38%)

Tabela 4 – Atenuação Sonora

Fonte: Autores, 2020.

## 4 | DISCUSSÕES

Mediante os resultados encontrados, foi observado que o tratamento dos resíduos contribuiu para diminuir a condutividade térmica dentro do material, propiciando maior isolamento. Além disso, foi notado que a granulometria de grossos conduz menor energia em todas as amostras ensaiadas. Comparando os resultados obtidos no ensaio de condutividade térmica com a análise termográfica, é possível notar que embora as amostras em que os resíduos não foram tratados obtiveram uma menor condutividade térmica dentro de um maior período; quando o material é exposto a mesma fonte de calor, em curto prazo, as amostras não submetidas ao tratamento dos resíduos apresentam melhor desempenho. Não foram observados ganhos significativos em relação a granulometria ou nível de pressão na análise termográfica.

Em relação a atenuação acústica, foi constatado que o tratamento dos resíduos melhora significativamente, no entanto, o efeito do tratamento é inversamente proporcional ao aumento da frequência. Sendo assim, o tratamento dos resíduos modifica as pontes sonoras no material de forma que os sons mais graves o atravessem com maior dificuldade.

Comparou-se os resultados obtidos no ensaio de atenuação acústica, com outros já conhecidos de materiais tradicionais da construção civil. Segundo Neto (2009), blocos de concreto com 11,5cm de espessura possuem atenuação sonora de 59 db quando expostos a uma frequência de 1000Hz, já no caso de serem

cerâmicos, a atenuação acústica é 57 db. Nota-se, portanto, que o material tem um excelente desempenho frente a sua função de vedação vertical com apenas 2cm de espessura, na frequência de 1000Hz, se comparado com outros materiais como aqueles apontados por Neto (2009).

## 5 | CONCLUSÕES

A partir da análise do desempenho térmico do material, unindo os dois ensaios realizados, pode perceber que a faixa granulométrica de finos (granulometria 1), apresenta menor ganho de temperatura superficial quando exposta a uma fonte de calor de curto prazo, devido a compactação das partículas nessas amostras. Já a faixa granulométrica de grossos (granulometria 2) possui maior potencial como isolante térmica, uma vez que, quando exposta a uma fonte de calor em um longo período de tempo, conduziu menor quantidade de calor, equilibrando as pontes térmicas dentro do material. Sendo assim, o tratamentos dos resíduos promove um equilíbrio na condução do fluxo de calor através das faces dos corpos-de-prova.

Em relação ao desempenho acústico, todas as amostras em que os resíduos foram submetidos ao tratamento a quente obtiveram grandes melhorias para todas as frequências, demonstrando maior atenuação ao som emitido. Destaca-se ainda, que de acordo com a NBR 15.575:2013, responsável pela normatização do desempenho das edificações, é recomendado que uma vedação interna seja capaz de isolar no mínimo 50 db. No entanto, os materiais de construção disponíveis no mercado, não são produzidos com intuito de proporcionar conforto acústico ou térmico, mas sim, de baratear a produção. Dessa forma, poucos atingem o isolamento adequado proposto pela norma. Sendo assim, como as atenuações foram significativas para um material pouco espesso (entre 20 a 40 db), espera-se que as placas de vedação assumam sua função de revestimento a uma vedação interna, contribuindo significativamente assim para a melhoria do isolamento acústico da edificação.

Dessa forma, o material analisado, além de se apresentar funcional e adequado quanto ao seu propósito de vedação vertical, possibilita assim, uma redução de impactos ambientais, financeiros e sociais dentro do setor da construção civil perante o crescimento de uma sociedade sustentável.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – ASTM. **ASTM C1363-19: Standart test method for termal performance of building materials and envelope assemblies by means of a hot box apparatus.** West Conshohocken, PA, 2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – ASTM. **ASTM C518-17: Standart test method for steady-state termal transmission properties by means of the heat flow meter apparatus.** West Conshohocken, PA, 2017.

ALLAN, P. S.; AHMADNIA A.; WITHNALL, R. & SILVER, J. “**Sound transmission testing of Polymer compounds**”, *Polymer Testing*, v. 31, n. 2, pp. 312 – 321, Abril de 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575: Desempenho de edificações habitacionais**. Rio de Janeiro, 2013.

BERALDO, A. L. et al. “**Viabilidade de fabricação de compósitos rejeitos de madeiras e cimento Portland (CBC)**”, In: *Anais do Workshop Reciclagem e Reutilização de Rejeitos com Materiais de Construção Civil*, pp. 77-82, São Paulo, 1996.

CAMPOS, C. I. de; BERALDO, A. L.; HELLMESITER, J. C. “**Caracterização mecânica do compósito cimento-madeira de reflorestamento (*cunninghamia lanceolata hook*)**”, In: *Anais do VII Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira*, 2000.

CARVALHO, R. P., **Acústica Arquitetônica**, 2 ed, Brasília, Ed. Thesaurus, 2006.

CORTIZO, E. C. **Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: ênfase em edificações do patrimônio histórico**. Tese de D.Sc., UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2007.

HERRERA, R. E.; CLOUTIER, A. “**Compatibility of four eastern Canadian woods with gypsum and gypsum-cement binders by isothermal calorimetry**.” *Maderas: Ciencia y Tecnología*, v. 10, Janeiro de 2010.

ISO 10140:2010. **Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements**. BSI Standards Publication, 2010.

IWAKARI, S.; PRATA, J. G. “**Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* na produção de painéis de cimento-madeira**”, *Cerne*, v. 14, n.1, pp. 68-74, Janeiro de 2008.

LATORRACA, J. V. de F. **Eucalyptus ssp. na produção de painéis de cimento madeira**. Tese de D.Sc., UFPR, Curitiba, PR, Brasil, 2000.

NETO, M. F. F. **Nível de conforto acústico: uma proposta para edifícios residenciais**. Tese de D.Sc., UNICAMP, Campinas, SP, Brasil, 2009.

PAPADOULOS, A. N. “**Decay resistance of cementbonded oriented strand board**”. *Bioresources*, v.1, n. 1, pp 62-66, Julho de 2006.

PEREIRA, E.; MEDEIROS, M. H. F. de e LEVY, S. M. “**Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica**.” *Ambiente Construído*, v. 12, n. 3, pp 125-134, Julho de 2012.

PIMENTEL, L.; BERALDO, A. L. “**Utilização de resíduos de *pinus caribaea* na produção de compósito de madeira-cimento.**”, In: *Anais do VII Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira*, 2000.

SANTOS, R. C. et al. “**Aproveitamento de resíduos de madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de painéis de cimento-madeira.**” Cerne, v. 14, n. 3, pp 241-250, Julho de 2008.

SAVASTANO Jr. et. al. “**Brazilian waste fibers as reinforcement of cement-based composites.**” Cement and Concrete Composites, v. 22, n. 5, pp 379 – 384, 2000.

TARPANI, J. R.; ALMEIDA, E. G. R. de; SIMENCIO, E. C. A.; MOTA, L. P.; PAZ, J. H. A. A. “**Inspeção termográfica de danos por impacto em laminados de matriz polimérica reforçados por fibras de carbono.**” Polímeros, v. 19, n. 4, pp 318-328, 2009.

TAVARES, S. G. **Desenvolvimento de uma metodologia para aplicação de ensaios térmicos não destrutivos na avaliação da integridade de obras de artes.** Tese de D.Sc., UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2006.

# CAPÍTULO 8

## COMPARATIVE ANALYSIS OF A TRANSIENT HEAT FLOW AND THERMAL STRESSES BY ANALYTICAL AND NUMERICAL METHODS

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 28/06/2020

**Gisele Vilela Almeida**

Universidade de Brasília  
Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/8441319933296961>

**Nailde de Amorim Coelho**

Universidade Federal do Vale do São Francisco  
Juazeiro – BA

<http://lattes.cnpq.br/1159919135214775>

**Nasser Samir Alkmim**

Universidade de Brasília  
Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/9182834189918100>

**RESUMO:** O estudo de problemas térmicos é extremamente importante na engenharia civil, devido à necessidade de conhecer as temperaturas e as geradas, por exemplo, em grandes partes, para avaliar como as tensões que podem surgir como resultado delas. Essas tensões surgem quando restrições são impostas às peças que não podem ser movidas e, consequentemente, causam rachaduras quando ocorrem tensões maiores que podem suportar as peças estressadas. Como os problemas geralmente são causados por métodos numéricos, por exemplo, o Método das Diferenças Finitas - MDF e o Método dos Elementos Finitos, por meio de programas de computador, como MATLAB, PYTHON e ANSYS. Este trabalho determina como soluções de casos em que a

variação térmica ocorre no regime transitório e através do acoplamento termomecânico são definidas como tensões de origem térmica na estrutura através de uma análise numérica usando os métodos numéricos e programas de computador acima. Inicialmente, realize a validação dos métodos e programas de cálculo utilizados comparando soluções analíticas na literatura com soluções numéricas. Os resultados encontrados foram satisfatórios, sem os quais a temperatura e as tensões geradas eram exatas e precisas, possíveis, futuramente, implementadas nas soluções de problemas mais complexos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Problemas Termomecânicos, Método das Diferenças Finitas, Método dos Elementos Finitos, Tensões Térmicas, Temperatura.

### ANÁLISE COMPARATIVA DO FLUXO DE CALOR EM REGIME TRANSIENTE E TENSÕES TÉMICAS POR MÉTODOS ANALÍTICOS E NUMÉRICOS

**ABSTRACT:** The study of thermal problems is extremely important in civil engineering, due to the need to know the temperatures and those generated, for example, in large parts used to be able to evaluate how the pensions that may arise as a result of them. These stresses arise when restrictions are imposed on parts that cannot be moved and, consequently, cause cracks when greater stresses occur that can withstand stressed parts. As the problems are usually caused by numerical methods, for example, the Finite Difference Method - MDF and the Finite Element Method, through computer programs, such as MATLAB, PYTHON, and ANSYS. This work

determines as solutions of cases in which the thermal variation occurs in the transient regime and through the thermomechanical coupling are defined as stresses of thermal origin in the structure through a numerical analysis using the numerical methods and computer programs above. Initially, perform the validation of the calculation methods and programs used by comparing analytical solutions in the literature with numerical solutions. The results found were satisfactory, without which temperature and the generated tensions were exact and precise, possible, in the future, implemented in the solutions of more complex problems.

**KEYWORDS:** Thermomechanical Problems, Finite Difference Method, Finite Element Method, Thermal Stresses, Temperature.

## 1 | INTRODUCTION

Heat flow is a common phenomenon in engineering. The temperature variation may be responsible for problems in structural parts due to the appearance of thermal stresses that may exceed the design resistive capacity and, consequently, give rise to fissures.

The study of heat equations is necessary so that it is possible to analyze the behavior of the involved materials in any project. The imposed conditions, initial and boundary conditions have direct influence on the equation results.

One of the main objectives of heat conduction analysis is to know the temperature distribution, ie, how the temperature varies with the position in the domain. Conductive heat flow at any point in the middle or surface of a body can be determined by the Fourier law, represented by Partial Differential Equations (PDEs) INCOPRERA (1990).

Among the various mechanisms for solving heat transfer problems, there are the Finite Differences Method (FDM), easy to interpret and manipulate, the Finite Element Method (FEM), widely used in engineering, as well as the Analytical Methods, responsible for Mathematical solutions.

The MDF is a numerical procedure that solves PDEs by discretizing a continuous physical domain into a finite discrete mesh, approaching each partial derivative in the EDP by approximations of finite algebraic differences (HOFFMANN, 2001). The finite difference equation must represent the exact solution of the PDE at each point of the discretized region in which the problem solution is to be obtained (CÔRREA, 2011).

The FEM provides a general and systematic technique for the construction of base functions, which are necessary to model solutions of approximate boundary problems using, for example, the Galerkin method. According to (BECKER, 1981), it is possible to construct approximate solutions for differential equations provided with a boundary condition, by dividing the domain of the solution into a finite number of subdomains.

Thermomechanical coupling is an alternative to problem solving using the methods mentioned. First, results of thermal analyzes are obtained. With the thermal distribution associated with the mechanical boundary conditions found, it is possible to find the stresses arising from the heat flux.

Therefore, this work intends to present analysis of heat flow and thermomechanical stresses for simple problems with the objective of accomplishing a preliminary and necessary step for studying the coupled problem in question. Thus, in this work will be presented comparisons between the Finite Element and the Finite Differences Methods for numerical solutions of the General Two-dimensional Heat Conduction Equation in Transient Regime and the coupled case of a plate submitted to a thermal variation.

## 2 | THEORETICAL FUNDAMENTS

Analytical solutions to thermal problems, depending on the geometry and imposed initial and boundary conditions can be very complex or even impossible to determine. Numerical methods allow an easier and faster solution to these problems with the aid of computational tools. Therefore, in this work, the analytical methods, the FDM and the FEM were used, as will be presented in the sequence.

### 2.1 General heat conduction equation

Heat conduction can be quantified in terms of differential equations. The mathematical model that describes the general heat conduction equation in rectangular coordinates, defined by (ÇENGEL e. all, 2006) is given by:

$$k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

In which  $\dot{q}$  is the heat generation in respect to time ( $\text{W/m}^3$ ),  $k$  is the thermal conductivity ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ ),  $c$  is the specific heat ( $\text{J/g}^\circ\text{C}$ ),  $\rho$  is specific mass ( $\text{Kg/m}^3$ ),  $\frac{\partial T}{\partial t}$  is the temperature variation in time, and  $\left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = \nabla^2 T$  represents the thermal gradient.

### 2.2 General heat conduction equation by finite differences method (FDM)

The FDM allows the temperature calculation at any point in the domain (Figure 1) from its boundary conditions.

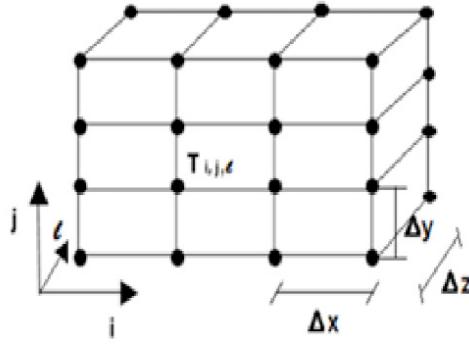


Figure 1: Finite Differences Mesh Example.(COELHO,2016).

The method consists in the substitution of differential equations by algebraic equations, making derivative transformations into finite differences. Based on studies carried out by (COELHO,2016) the substitutions of First Order Differential Equations and Second Order Differential Equations are shown in table (1) by their respective Finite Differences forms:

1 <sup>a</sup> Order of Derivatives:		2 <sup>a</sup> Order of Derivatives	
$\frac{\partial T}{\partial x}$	$\frac{T_{i+1} - T_{i-1}}{x_{i+1} - x_{i-1}} = \frac{T_{i+1} - T_{i-1}}{2\Delta x}$	$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$	$\frac{T_{i+1,j,l} - 2T_{i,j,l} + T_{i-1,j,l}}{(x_{i+1} - x_{i-1})^2} = \frac{T_{i+1,j,l} - 2T_{i,j,l} + T_{i-1,j,l}}{\Delta x^2}$
$\frac{\partial T}{\partial y}$	$\frac{T_{j+1} - T_{j-1}}{y_{j+1} - y_{j-1}} = \frac{T_{j+1} - T_{j-1}}{2\Delta y}$	$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$	$\frac{T_{i,j+1,l} - 2T_{i,j,l} + T_{i,j-1,l}}{(y_{j+1} - y_{j-1})^2} = \frac{T_{i,j+1,l} - 2T_{i,j,l} + T_{i,j-1,l}}{\Delta y^2}$
$\frac{\partial T}{\partial z}$	$\frac{T_{l+1} - T_{l-1}}{z_{l+1} - z_{l-1}} = \frac{T_{l+1} - T_{l-1}}{2\Delta z}$	$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$	$\frac{T_{i,j,l+1} - 2T_{i,j,l} + T_{i,j,l-1}}{(z_{l+1} - z_{l-1})^2} = \frac{T_{i,j,l+1} - 2T_{i,j,l} + T_{i,j,l-1}}{\Delta z^2}$

Table 1: First and Second order derivatives expressions approximated through the FDM.

In the transient case there will be at least one time derivative. According to [5], the term  $\frac{\partial T}{\partial t}$ , with time increments ( $k$ ), is defined as:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t} \quad (2)$$

By replacing the ODEs with the corresponding differences in Eq. (1), we define the general heat conduction equation in three-dimensional finite differences:

$$\frac{T_{i+1,j,l}^k - 2T_i^k + T_{i-1,j,l}^k}{\Delta x^2} + \frac{T_{i,j+1,l}^k - 2T_i^k + T_{i,j-1,l}^k}{\Delta y^2} + \frac{T_{i,j,l+1}^k - 2T_i^k + T_{i,j,l-1}^k}{\Delta z^2} + \frac{q^k}{k} = \frac{1}{D} \frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t} \quad (3)$$

Beign  $D = \frac{k}{\rho c}$ , known as termal diffusivity.

Considering  $\Delta x^2 = \Delta y^2 = \Delta z^2$ , and simplifying Eq. (3), arise the Eq. (4):

$$T_i^{k+1} = F(T_{i+1,j,l}^k + T_{i-1,j,l}^k + T_{i,j+1,l}^k + T_{i,j-1,l}^k + T_{i,j,l+1}^k + T_{i,j,l-1}^k) + (1 - 6F)T_i^k + G \quad (4)$$

In which,

$$F = \frac{\Delta t \cdot D}{\Delta x^2} \quad (5)$$

$$G = \frac{q^k \cdot \Delta x^2 \cdot \Delta t}{\rho c} \quad (6)$$

The expression in FDM allows the calculation of temperature at any point in the domain. The virtual points outside the domain are determined by the boundary conditions. The application of the FDM expression to all points of the domain leads to a system of n equations with n unknowns, of type  $Ax = B$ , which is solved by the classical mathematical methods in MatLab (COELHO,2016).

### 2.3 General heat conduction equation by finite elements method (FEM)

According to (COELHO, 2012), the temperature distribution  $T (x, y, z, t)$  inside the solid body is defined as:

$$I = \frac{1}{2} \iiint_V \left[ K \left( \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right) - 2 \left( \dot{q} - \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \right) T \right] dV \quad (7)$$

Using Galerkin's Method as solution to Eq. (7), the following steps were adopted, [19]:

1. Divide the domain V into E finite elements with p nodes;
2. Assume the appropriate variational form of T in finite elements with elements, expressed by:

$$T^{(e)}(x, y, z, t) = [N(x, y, z)] \vec{T}^{(e)} \quad (8)$$

where:

$$[N(x, y, z)] = [N_1(x, y, z) \quad N_2(x, y, z) \quad \dots \quad N_p(x, y, z)] \quad (9)$$

$$\vec{T}^{(e)} = \begin{bmatrix} T_1(t) \\ \vdots \\ T_2(t) \end{bmatrix} \quad (10)$$

3. The integral of the weighted residue on the element domain is set equal to zero, having the same weights as the interpolation functions  $N_i$ . If the solution of the previous equation is not exact, it is replaced by the differential equation, which instead of zero will have a different value called the residual. Thus, the criterion to be satisfied at each instant of time is:

$$\mathbf{I} = \iiint_{V^e} \left[ \mathbf{N}_i \left( \mathbf{k} \left( \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial z} \right) \right) \right) + \dot{\mathbf{q}} - \rho c \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial t} \right] dV \quad (11)$$

Rewriting the first term of the integral:

$$\iiint_{V^e} \mathbf{N}_i \mathbf{k} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial x} \right) dV = - \iiint_{V^e} \mathbf{k} \frac{\partial \mathbf{N}_i}{\partial x} \left( \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial x} \right) dV + \iiint_{V^e} \mathbf{N}_i \mathbf{k} \left( \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial x} \right) \mathbf{l}_x dS \quad (12)$$

Being  $\mathbf{l}_x$  the cosine in x-direction. For the complete equation:

$$- \iiint_{V^e} \mathbf{k} \left[ \frac{\partial \mathbf{N}_i}{\partial x} \left( \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial x} \right) + \frac{\partial \mathbf{N}_i}{\partial y} \left( \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial y} \right) + \frac{\partial \mathbf{N}_i}{\partial z} \left( \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial z} \right) \right] dV + \iiint_{V^e} \mathbf{N}_i \mathbf{k} \left[ \left( \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial x} \right) \mathbf{l}_x + \left( \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial y} \right) \mathbf{l}_y + \left( \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial z} \right) \mathbf{l}_z \right] dS + \iiint_{V^e} \mathbf{N}_i \mathbf{k} \left( \dot{\mathbf{q}} - \rho c \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial t} \right) dV \quad (13)$$

The boundary of element  $^{(e)}$  is composed of  $S_1^{(e)}$ ,  $S_2^{(e)}$  and  $S_3^{(e)}$ . The surface integral equals to zero due to  $T_0$  in  $S_1^{(e)}$ , the derivatives of  $T^{(e)}$  in respect to x, y and z are zero too. In  $S_2^{(e)}$  and  $S_3^{(e)}$ , the boundary conditions satisfies the problem, thus having as surface integral in  $S_2^{(e)}$  and  $S_3^{(e)}$ :

$$\begin{aligned} & \iint_{S_2^{(e)} + S_3^{(e)}} \mathbf{N}_i \mathbf{k} \left[ \left( \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial x} \right) \mathbf{l}_x + \left( \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial y} \right) \mathbf{l}_y + \left( \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial z} \right) \mathbf{l}_z \right] dS \\ &= \iint_{S_2^{(e)}} \mathbf{N}_i \mathbf{q} dS_2 - \iint_{S_2^{(e)}} \mathbf{h} (\mathbf{T}^{(e)} - \mathbf{T}_\infty) dS_3 \end{aligned} \quad (14)$$

The matricial form of the equation is:

$$[\mathbf{K}_1^{(e)}] \vec{\mathbf{T}}^{(e)} + [\mathbf{K}_2^{(e)}] \vec{\mathbf{T}}^{(e)} + [\mathbf{K}_3^{(e)}] \vec{\mathbf{T}}^{(e)} - \vec{\mathbf{P}}^{(e)} = \vec{0} \quad (15)$$

In which:

$$\mathbf{K}_{1ij}^{(e)} = - \iiint_{V^e} \mathbf{k} \left[ \frac{\partial \mathbf{N}_i}{\partial x} \left( \frac{\partial \mathbf{T} N_j}{\partial x} \right) + \frac{\partial \mathbf{N}_i}{\partial y} \left( \frac{\partial \mathbf{T} N_j}{\partial y} \right) + \frac{\partial \mathbf{N}_i}{\partial z} \left( \frac{\partial \mathbf{T} N_j}{\partial z} \right) \right] dV \quad (16)$$

$$\mathbf{K}_{2ij}^{(e)} = \iint_{S_3^{(e)}} \mathbf{h} \mathbf{N}_i \mathbf{N}_j dS_3 \quad (17)$$

$$\mathbf{K}_{3ij}^{(e)} = \iint_{V^{(e)}} \rho c \mathbf{N}_i \mathbf{N}_j dV \quad (18)$$

$$\vec{\mathbf{P}}^{(e)}_i = \iint_{V^{(e)}} \dot{\mathbf{q}} \mathbf{N}_i dV - \iint_{S_2^{(e)}} \mathbf{N}_i \mathbf{q} dS_2 - \iint_{S_2^{(e)}} \mathbf{h} (\mathbf{T}_\infty) dS_3 \quad (19)$$

4. The matrix elements can be written in the usual form:

$$[\underline{\mathbf{K}}_3] \vec{\mathbf{T}}^{(e)} + [\mathbf{K}^{(e)}] \vec{\mathbf{T}}^{(e)} = \vec{\mathbf{P}} \quad (20)$$

$$[\underline{\mathbf{K}}_3] = \sum_{e=1}^E [\mathbf{K}_3^{(e)}] \quad (21)$$

$$[\underline{K}] = \sum_{e=1}^E [K_1^{(e)} + K_2^{(e)}] \quad (22)$$

$$\underline{\underline{P}} = \sum_{e=1}^E [\underline{\underline{P}}^{(e)}] \quad (23)$$

The equations must be solved by incorporating the boundary conditions and the initial conditions. The expressions  $[K1(e)]$ ,  $[K2(e)]$  e  $[K3(e)]$  and  $\underline{\underline{P}}(e)$  are written as matrixes with notation:

$$K_1^{(e)} = \iiint_{V^e} [\mathbf{B}]^T [\mathbf{D}] [\mathbf{B}] dV \quad (24)$$

$$K_2^{(e)} = \iiint_{S_3^{(e)}} \mathbf{h} [\mathbf{N}]^T [\mathbf{N}] dS_3 \quad (25)$$

$$K_3^{(e)} = \iiint_{V^e} \rho c [\mathbf{N}]^T [\mathbf{N}] dV \quad (26)$$

$$\underline{\underline{P}}^{(e)} = \underline{\underline{P}}_1^{(e)} - \underline{\underline{P}}_2^{(e)} + \underline{\underline{P}}_3^{(e)} \quad (27)$$

Where:

$$\underline{\underline{P}}_1^{(e)} = \iiint_{V^e} \dot{q} [\mathbf{N}]^T dV \quad (28)$$

$$\underline{\underline{P}}_2^{(e)} = \iint_{S_3^{(e)}} \mathbf{q} [\mathbf{N}]^T dS_2 \quad (29)$$

$$\underline{\underline{P}}_3^{(e)} = \iint_{S_3^{(e)}} \mathbf{h} T_{\infty} [\mathbf{N}]^T dS_3 \quad (30)$$

$$\underline{\underline{P}}^{(e)} = \underline{\underline{P}}_1^{(e)} - \underline{\underline{P}}_2^{(e)} + \underline{\underline{P}}_3^{(e)} \quad (27)$$

$$[\mathbf{D}] = \begin{bmatrix} k_x & 0 & 0 \\ 0 & k_y & 0 \\ 0 & 0 & k_z \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$[\mathbf{B}] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & \frac{\partial N_2}{\partial x} & \dots & \frac{\partial N_p}{\partial x} \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_2}{\partial y} & \dots & \frac{\partial N_p}{\partial y} \\ \frac{\partial N_1}{\partial z} & \frac{\partial N_2}{\partial z} & \dots & \frac{\partial N_p}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (32)$$

### 3 | RESULTS

The presented results were developed by FDM and FEM in the first problem, with implementation in MATLAB and PHYTON, respectively, showing the transient heat flux for a situation with heat generation. In the second problem, results are displayed for a thermomechanical coupling using the analytical solution compared to

the FEM using the ANSYS WORKBENCH software.

### 3.1 Complete 2D heat equation with internal heat generation

The proposed case consists of a concrete plate of unit dimensions, with internal heat generation. The points analyzed were P1, P2 and P3, which are located in the center line of the x-axis, 0.25 m from the upper surface, at the plate central point and 0.25 from the lower surface of the y-axis, respectively. The adopted heat generation is represented by  $q' = q_0 \cdot m \cdot e^{(-mt)}$ , where  $q_0 = 200 \text{ J/m}^3\text{s}$ .

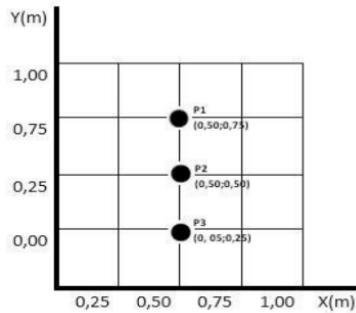


Figure 2: Plate and points analyzed by equation.

The considered thermal and mechanical properties are in Tab. (2):

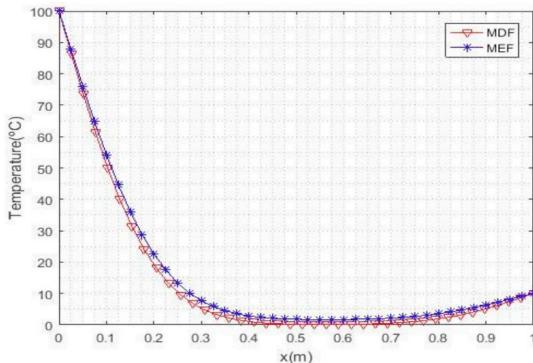
Property	SI	Valor
Thermal Conductivity	k	1,79 (W/m.°C)
Specific Heat	c	1000(J/g.°C)
Specific Mass	ρ	2388(Kg/m³)
Thermal Expansion Coefficient	α	16,67.10⁻⁶ (/ °C)
Elasticity Module	E	210000MPa
Conductive Heat Transfer Coefficient	h	13,95 W/mK

Table 2: Thermal and mechanical properties.

#### 3.1.1 Analysis of results

The comparison between results was performed by comparing the temperature evolution curves obtained by the numerical solutions of the FDM and FEM at the stipulated time of 17280 s, as a function of the positions shown in graphic (1,2). The first graph, graphic (02), considered the position variation only around the x-axis by adopting the central position of the plate (0.50 m) at y. In the abscissa axis the

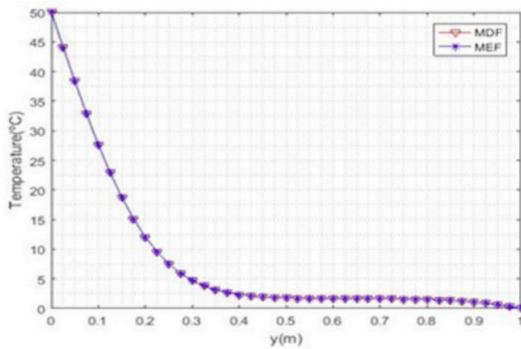
position variations in  $x$  (m) were considered and in the ordinates the temperature variation ( $^{\circ}\text{C}$ ).



Graphic 1: Temperature along the  $x$ -axis for full 2D equation.

Analyzing graphic. (1) it can be seen that in the position  $x = 0.00$  m the temperature corresponds to  $100$   $^{\circ}\text{C}$ , and for position  $x = 1.00$  m to  $10$   $^{\circ}\text{C}$ , which are the initial boundary conditions. In other positions, the results overlap, showing that the results obtained are reliable. The graphic. (2) considered the position variation only around the  $y$ -axis and adopted the central position (0.50 m) for  $x$ .

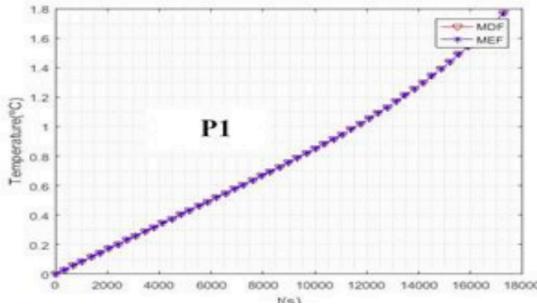
In the abscissa axis are the position variations in  $y$  (m) and in the ordinates the temperature variation ( $^{\circ}\text{C}$ ).



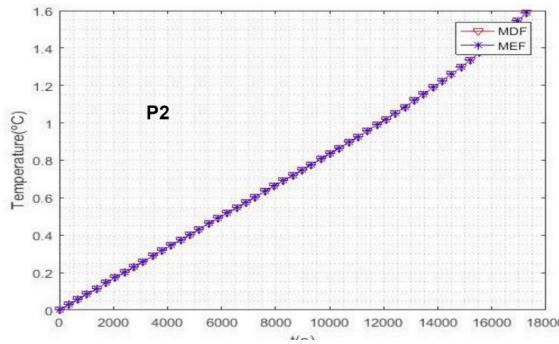
Graphic 2: Temperature along the  $y$ -axis for the complete 2D equation.

As in the graphic (2) and graphic. (3), the temperatures dependent on the boundary conditions remained the same, at  $50$   $^{\circ}\text{C}$  and  $0$   $^{\circ}\text{C}$ , and the other points presented overlapping results.

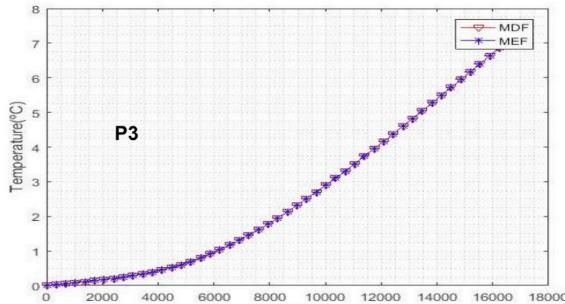
Afterward, the temperature evolution was analyzed as a function of time by the two numerical methods at three points on the plate (P1, P2, and P3). The point P1 is located at the coordinates  $x = 0.50\text{m}$  and  $y = 0.25\text{m}$ . P2 at coordinates  $x = 0.50\text{m}$  and  $y = 0.50\text{m}$  and point P3 at coordinates  $x = 0.50\text{m}$  and  $y = 0.75\text{m}$ . The comparisons can be seen in Graphics. (3a), (3b) and (3c).



Graphic 3a: Transient temperature analysis of the Point (P1).



Graphic 3b: Transient temperature analysis of the Point (P2).



Graphic 3c: Transient temperature analysis of the Point (P3).

In all the Graphics (3), it can be observed that the results obtained by FDM and FEM are coincident, showing a good treatment of data and that both are efficient in the solution of heat problems.

### 3.2 Thermomechanical coupling in a rectangular plate

In this section, numerical-analytical results will be compared for the case of rectangular plate with fixed boundary conditions subject to a non-uniform heat variation  $\Delta T$ , according to Fig. (3), as proposed by (SZILARD,2004).

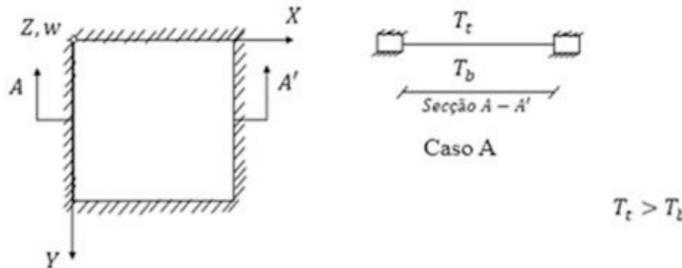


Figure 3: Comparison of the mechanical results for the bi-anchored beam.

Considering the edges of the plate free to slide, but with restriction to rotation, case A, the moment in the plate is given by Eq. (33).

$$M = -\frac{D\alpha(\Delta T)}{h} (1 + \nu) \quad (33)$$

Being  $M$  the moment due to the temperature gradient ( $\Delta T$ );  $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$  is the flexural stiffness and  $\nu$  is the Poisson's coefficient.

The correspondent maximum stress  $\sigma_{max,b}$  is given by:

$$\sigma_{max,b} = \pm \frac{6M}{h^2} \quad (34)$$

Was modeled in ANSYS Workbench a solid body of dimensions (x, y, z) = (0.5, 0.5, 0.1), as in Fig. (07), with temperatures  $T = 0$  °C at  $z = 0.0$  m and  $T = 100$  °C at  $z = 0.1$  m. The results for the temperatures can be visualized in Fig. (04), presenting a uniform thermal distribution.

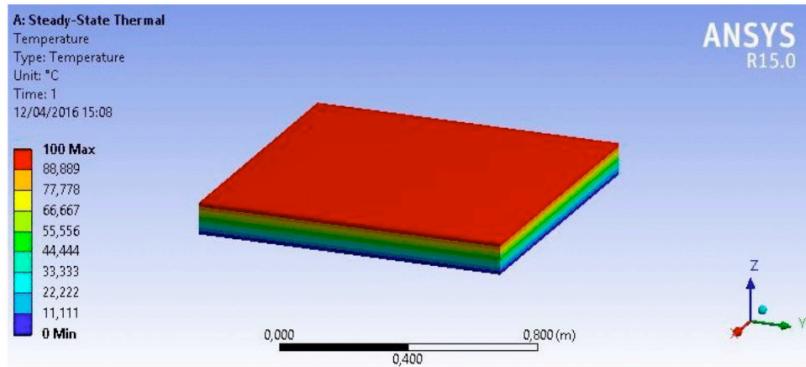


Figure 04: Mechanical results for the bi-anchored beam.

If there is only the displacement restriction at  $z$ , the maximum and minimum stresses found at the central points of the body are  $\pm 9,4303E7$  Pa. Using Eqs. (33) and (34), the maximum stresses are  $\pm 8,57E7$  Pa, differing only in 9.0 % from the software result. The graph of Fig. (05) presents the stress distribution in the abscissa axis (Pa), by the thickness in the ordinates axis (m). The 'calculated stress' curve represents the maximum tensions found analytically, 'Stress X' represents the stresses found by the program along the width and 'Stress Z' the stresses in the thickness direction, being free to rotate, the stresses in that axis are zero. However, the maximum stresses by both methods are very close.

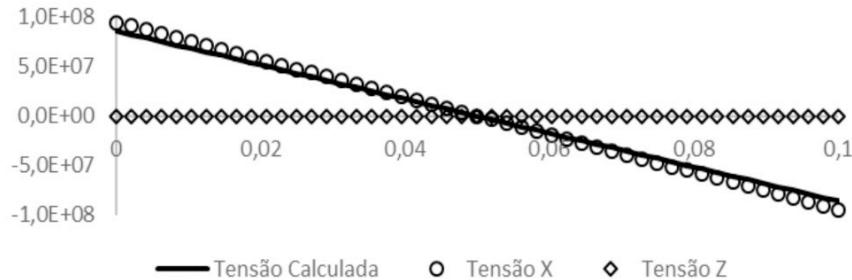


Figure 05: Thermal stresses result comparison for different cases.

With this analysis, it can be affirmed that the analytical method and the MEF, applied through the ANSYS, can be used in the resolution of thermomechanical problems in engineering, and can later apply this methodology to more complex situations. Other similar analyzes can be observed in (COELHO et. all, 2016).

## 4 | CONCLUSIONS

With the presented results, it is possible to affirm that the thermal and thermomechanical analyzes can be done by means of different methods, like the analytical method, FDM and FEM. The comparisons between the simulations performed with the exposed alternatives were coincident, showing a good treatment of the data and a correct manipulation of the computational tools. It is also noted that the initial conditions and boundary properly applied are essential in order to reach the expected results. Although the cases presented are simple, they are essential if advances are to be achieved, as they are part of a needed preliminary study phase of validation that aims to arrive at solutions, with confidence in numerical simulations, of more complex problems.

## REFERENCES

- Becker, E., 1981. Finite elements. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall.
- Çengel, Y. A. 2006. Heat and Mass Transfer: A Practical Approach, 3<sup>a</sup> Ed., McGrawHill, Singapore.
- Coelho, N. A.. Métodos Analíticos e Numéricos para o Estudo dos Efeitos Termomecânicos no Concreto Massa Orientados às Barragens de Gravidade. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília – UnB. Brasília: 2016.
- Coelho, N. A.. Um Estudo Numérico do Efeito Térmico em Concreto Massa. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília – UnB. Brasília: 2012.
- Coelho, N. A.; Silva, D. A.; Pedroso, L. J.; Efeito térmico provocado pelo calor de hidratação em barragem de gravidade construída em camadas. In: XXXVII Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering. Brasília: 2016b.
- Corrêa, L.; Lima, G. A. B.; Ferreira, V. G. Solução Numérica de Equações Diferenciais Parciais via o Método das Diferenças Finitas. II Colóquio de Matemática do Centro Oeste. 2011.
- Hoffman, J. D., 2001. Numerical methods for engineers and scientists, Marcel Dekker, Inc.
- Incropiera, F.P.; Dewitt, D.P. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa, 3a Edição, LTC S. A., R. J. 1990.
- SZILARD, R.. Theory and Analysis of Plates: Classical and Numerical Methods. John Wiley & Sons. New Jersey: 2004.

# CAPÍTULO 9

## PRODUÇÃO DE NANOFIBRAS POLIMÉRICAS ELETROFIADAS PARA MATERIAIS INTELIGENTES

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 16/07/2020

### **Giovana Miti Aibara Paschoal**

UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - POSMAT  
Presidente Prudente – SP  
<http://lattes.cnpq.br/7374762934193050>

### **Bruno Henrique de Santana Gois**

UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - POSMAT  
Presidente Prudente – SP  
<http://lattes.cnpq.br/1464596689867047>

### **André Antunes da Silva**

UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - POSMAT  
Presidente Prudente – SP  
<http://lattes.cnpq.br/5840841289729283>

### **Pedro Leonardo Silva**

UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”  
Presidente Prudente – SP  
<http://lattes.cnpq.br/1448920974480581>

### **Vilson Silva do Nascimento**

UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - POSMAT  
Presidente Prudente – SP  
<http://lattes.cnpq.br/8618041023185045>

### **Jessyka Carolina Bittencourt**

UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - POSMAT  
Presidente Prudente – SP  
<http://lattes.cnpq.br/6843667116447397>

### **Beatriz Marques Carvalho**

UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”  
Presidente Prudente – SP  
<http://lattes.cnpq.br/3337263309436266>

### **Roger Clive Hiorns**

UPPA – Université de Pau et des Pays de l'Adour  
IPREM - Institut des Sciences Analytiques et de Physico-Chimie pour l'Environnement et les Matériaux  
Pau – França  
<https://orcid.org/0000-0002-9887-5280>

### **Clarissa de Almeida Olivati**

UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - POSMAT  
Presidente Prudente – SP  
<http://lattes.cnpq.br/9822212808651415>

### **Deuber Lincon da Silva Agostini**

UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - POSMAT  
Presidente Prudente – SP  
<http://lattes.cnpq.br/8933884950667644>

**RESUMO:** Os materiais inteligentes - *smart materials* - já fazem parte da nossa realidade exigindo cada vez mais o desenvolvimento de técnicas e materiais para as mais diversas aplicações em diversos setores da nossa sociedade. O processamento de polímeros na forma de nanofibras é uma excelente opção para ampliar a gama de aplicações destes materiais, para isto a técnica de eletrofição permite a produção de nanofibras com diâmetros em torno

de 100- 500 nm. A principal vantagem destas nanofibras é a alta área superficial, quando comparada com o seu volume, permitindo assim uma excelente aplicação em dispositivos sensores de gás, fotovoltaicos e piezoeletrônicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Smart materials, eletrofiação, sensores, células solares.

## PRODUCTION OF ELECTROSPUN POLYMERIC NANOFIBERS FOR SMART MATERIALS

**ABSTRACT:** Smart materials are already part of our reality, demanding more and more the development of techniques and materials for the most diverse applications in different sectors of our society. The processing of polymers in the form of nanofibers is an excellent option to expand the range of applications of these materials, for this the electrospinning technique allows the production of nanofibers with diameters around 100-500 nm. The main advantage of these nanofibers is the high surface area, when compared to their volume, thus allowing an excellent application in gas sensors, photovoltaic and piezoelectric devices.

**KEYWORDS:** Smart materials, electrospinning, sensors, solar cells.

## 1 | INTRODUÇÃO

A definição exata de materiais inteligentes – *smart materials* – é por vezes controversa e de difícil convenção entre as diversas áreas da ciência, que de maneira ampla foram definidos como materiais que respondem a algum estímulo físico ou químico externo de maneira controlada para realizar uma determinada tarefa (BORGUE, 2012). Porém, ao pensar de maneira lógica, todos os materiais aplicados à engenharia têm este comportamento, portanto uma definição mais coerente para materiais inteligentes seria materiais que reagem de maneira útil, confiável e reproduzível, quando recebem um estímulo específico que se quer monitorar.

Segundo Abdel-Wahab, Murmu e Olabi (2018), os *smart materials* podem agir de acordo com os mais diferentes tipos de estímulos externos, tais como mudanças de temperatura, pressão, aplicação de um campo elétrico ou magnético e alterações de umidade ou pH. Com o advento da nanotecnologia, proposto por Feynman (1960), o desenvolvimento de produtos de alta tecnologia e ampla gama de aplicabilidade se fazem presente e beneficiam a vida humana nos mais diversos setores da sociedade, seja para a área da saúde, segurança, entretenimento, entre outros.

No início do século 20, graças ao grande avanço nas teorias físicas, em especial aos estudos da mecânica quântica por Bohr, de Broglie, Heisenberg, Schrödinger e outros, foi possível o desenvolvimento da microeletrônica (SWART, 2000). Sua evolução foi tamanha que os sistemas microeletromecânicos proporcionaram a produção de pequenos equipamentos capazes de realizar

diferentes ações, dentre as quais Celeste e Schneebeli (2005) apresentam os micro-acelerômetros (encontrados em sensores de automóveis, para ativação de airbag) e os micro-sensores (capazes de fazer monitoramento e controle de sistemas de monitoramento).

Outra aplicação são os sensores, que Adhikari e Majumdar (2004) explicam ser dispositivos com a função de fornecer informações sobre o ambiente físico, químico e biológico em que ele está presente. Sensores químicos transformam a presença de analitos na camada sensitiva em sinais elétricos detectáveis. Sensores de gases baseados em polímeros condutores alteram seu nível de dopagem através de reações redox, causando alterações na resistência do material nessa transição de nível de dopagem (BAI e SHI, 2007).

Na engenharia civil, pesquisas estão sendo desenvolvidas para produzir um concreto inteligente - *Smart Concrete*, no qual Roberts e Mo (2016) afirmam possuir pequenas fibras de carbono incluídas em sua estrutura. Estas fibras têm a capacidade de prever e monitorar a formação de rachaduras no concreto por meio de sondas que enviam informações e são acompanhadas por aplicativos. Devido a tais características, este material também se mostrou promissor para a utilização na detecção de terremotos, monitoramento do trânsito e ocupação de edifícios (CHUNG, 2002).

Ainda neste contexto, tem-se os materiais cromoativos, que possuem a propriedade de mudar de cor de acordo com um estímulo externo, estudados por Lantada (2011) e Cuerva (2016). Um exemplo de aplicação destes materiais são as tintas termocromáticas fluorescentes de polímeros semicondutores para registro seguro de documentos (YANG; HO; CHAN, 2019).

Segundo Lampert (2003), vidros inteligentes têm a capacidade de controlar a passagem de luz de acordo com a temperatura no interior de um determinado local, reduzindo o consumo de energia em equipamentos de iluminação artificial e condicionadores de ar, podendo também gerar energia elétrica através da conversão de energia solar incidente e aplicação de materiais com esta capacidade.

Já os materiais piezoelétricos podem ser utilizados de maneira inteligente em diversos campos de aplicação. De acordo com Zhang e Hoshino (2014) e Nia, Zawawi e Singh (2017), a piezoelétricidade é uma propriedade que alguns materiais possuem em converter estímulos mecânicos na sua estrutura em cargas elétricas e o mesmo pode ocorrer inversamente, de modo que um campo elétrico aplicado a estes materiais geram deformações físicas no mesmo. Com isto, estes materiais podem ser usados para a geração de energia ou como detectores de campos elétricos atuando de forma inteligente (LI et al, 2020).

Na busca pela produção de equipamentos de energia limpa, com flexibilidade e de baixo custo, desenvolvem-se dispositivos fotovoltaicos orgânicos (OPV),

que convertem luz solar em energia elétrica e são compostos por polímeros com boas propriedades elétricas, como é o caso apresentado por Wu et al (2009) de dispositivos fabricados com uma mistura de P3HT/PMMA e óxido de titânio.

O grafeno promete causar uma revolução nos *smart materials*, pois é extremamente fino, leve, flexível, transparente, impermeável, super-resistente e um ótimo condutor de eletricidade e calor, como afirma Sales (2013). Possui diversas aplicações nas áreas de telecomunicações, eletrônica e energética, nas indústrias de células solares e biossensores, na produção de dispositivos de detecção de gás e em revestimentos de equipamentos (MARASCHIN, 2016).

Fluidos magnetorreológicos são caracterizados por suas alterações reológicas rápidas e reversíveis devido a aplicações de campos magnéticos. Carlson (2008) afirma que estes fluidos apresentam vantagens quando comparados com fluidos convencionais devido sua capacidade de aumentar substancialmente a sua viscosidade em um baixo intervalo de tempo por uma simples passagem de corrente elétrica, tornando-os ideais para aplicações em sistemas de controle de vibrações.

## 2 I SMART MATERIALS DE NANOFIBRAS POLIMÉRICAS ELETROFIADAS

Os polímeros inteligentes representam uma classe importante dos materiais utilizados como *smart materials* por possuírem extensas cadeias moleculares, encontrarem-se em diferentes estados da matéria e, principalmente, por serem facilmente sintetizados de maneira controlada e em grandes quantidades. Deste modo as redes poliméricas podem agir, alusivamente, como uma rede de cérebros, como apresentado na Figura 1, agindo de maneira específica para responder a um estímulo externo de maneira útil e eficaz.

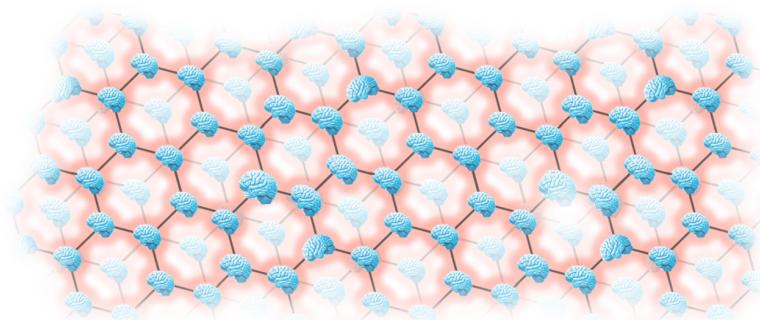


Figura 1 – Imagem ilustrativa dos polímeros inteligentes

Os nanomateriais trouxeram a promessa de uma revolução no processamento de materiais e fez ressurgir algumas técnicas, dentre estas temos a eletrofiação que foi observada pela primeira vez por Rayleigh em 1897, estudada por Zleny em 1914, mas patenteada somente em 1934 pela Formhals, que publicou diversos artigos desvelando sobre seus métodos em produção de nanofibras (BHARDWAJ, 2010).

Esta técnica permite a produção de nanofibras com diâmetro em média de 20 a 500 nm, a partir de uma solução polimérica. Além disso, recebe destaque dentre outras técnicas por sua fácil utilização, sendo necessário apenas uma bomba de infusão (para controle da quantidade de material a ser utilizado), um coletor aterrado e uma fonte de alta tensão, segundo Catalani, Collins e Jaffe (2007). Outra característica importante apresentada é a área superficial elevada, quando comparada ao seu volume.

Diante disso, a formação das nanofibras ocorre quando a fonte de tensão é ativada e o coletor está devidamente aterrado, gerando uma grande diferença de potencial entre a ponta da agulha e o coletor, produzindo o cone de Taylor. Dessa forma, o material é carregado eletricamente e em seguida é ejetado para o coletor, provocando assim o estiramento do material e a formação do emaranhado de fibras. A Figura 2 mostra um esquema da técnica de eletrofiação.

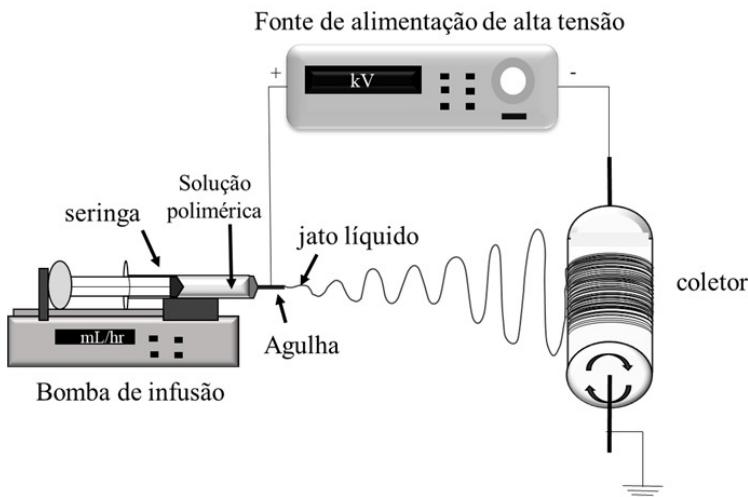


Figura 2 - Esquema dos equipamentos e materiais utilizados em eletrofiação

Para sua produção diversos parâmetros devem ser observados, dentre eles o do próprio material, tais como viscosidade, condutividade elétrica e tensão superficial. Além deles, o solvente utilizado para o material e os parâmetros ambientais têm grande influência na produção de fibras, tais como temperatura e

umidade (COSTA, 2012).

De acordo com Kim *et al* (2015), a principal vantagem de se obter fibras eletrofiadas em escala nanométrica é que a unidirecionalidade da estrutura promove uma produção e um transporte de carga mais eficiente. Isso acontece porque em uma fibra de menor diâmetro há maior organização da cadeia polimérica, que facilita a condução elétrica, diminui perdas energéticas e, portanto, aumenta o desempenho do material. Tais autores apresentam a aplicação de nanofibras produzidas por eletrofiação em células fotovoltaicas orgânicas com camada ativa de P3HT:PCBM (poli(3-hexiltiofeno): 1-(3-metoxicarbonil) propil-1-phenil [6, 6]C<sub>61</sub>).

Em meio a diferentes aplicações energéticas, grande interesse é despertado pela obtenção de dispositivos capazes de produzir energia autossuficiente. A exemplo disto, tem-se os nanogeradores piezoelétricos, que possuem a capacidade de converter força mecânica aplicada sobre suas superfícies em cargas elétricas livres, o que gera aplicação diversificada.

O trabalho publicado por Huang *et al* (2015) envolve esta tecnologia, voltando-se para o objetivo da geração de energia elétrica a partir da liberação de cargas de uma camada fibrosa eletrofiada, constituída do polímero poli(fluoreto de vinilideno) (PVDF), inserida dentro de uma palmilha de calçados; logo, conforme a pessoa caminhar, as pressões aplicadas ativam o efeito piezoelétrico, podendo assim carregar baterias entre outros componentes eletrônicos.

As nanofibras eletrofiadas também podem ser aplicadas em sensores químicos. De acordo com Spichiger-Keller (2008) e Kwon *et al* (2010), devido à alta área superficial e à possibilidade de produção de nanofibras com estruturas porosas, tais propriedades fazem com que a difusão entre o gás e a camada sensitiva presente nas nanofibras seja facilitada, possibilitando a produção de sensores químicos confiáveis com rápido tempo de resposta e altamente sensíveis.

Os trabalhos desenvolvidos em nosso grupo de pesquisa, no Laboratório de Eletrofiação e Tecnologia, mostram que os polímeros poli(álcool vinílico) - PVA, poli(metacrilato de metila) - PMMA e poli(fluoreto de vinilideno) - PVDF, mostram-se promissores para aplicação em sensores de gás, dispositivos fotovoltaicos e nanogeradores piezoelétricos, devido às estruturas nanométricas obtidas através do processamento destes pela técnica de eletrofiação.

A Figura 3 apresenta as nanofibras obtidas dos polímeros desenvolvidos, apresentando estruturas com diâmetros abaixo de 500 nm e principalmente com uma grande gama de diâmetros, sendo então um fator positivo pois esta variação nos diâmetros em uma mesma região permite um aumento na sensibilidade e melhoria no desempenho dos dispositivos.

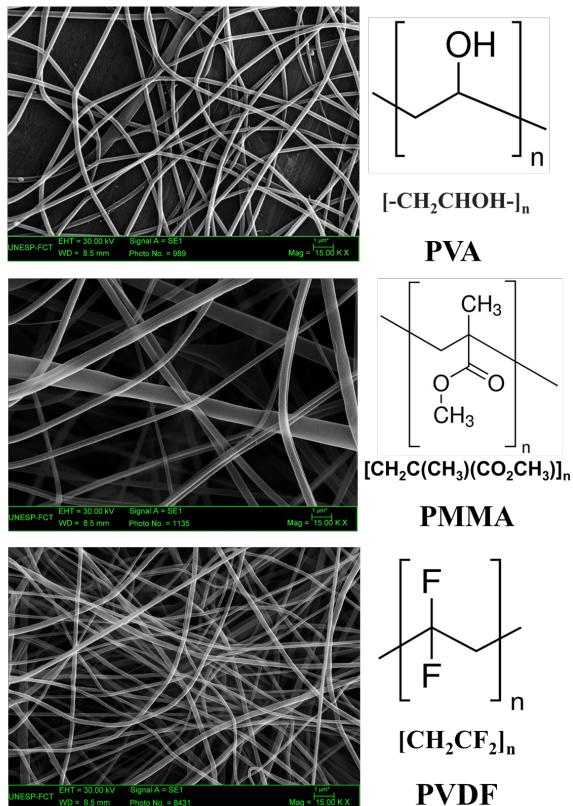


Figura 3 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de nanofibras eletrofiadas a partir de solução polimérica de PVA, PMMA e PVDF

A produção destas nanofibras sofrem forte influência da umidade, sendo que para o PVA é necessário uma baixa umidade (menor que 40%) e para os polímeros, PMMA e PVDF, uma alta umidade (maior que 60%) favorece a produção das nanofibras. Para a produção destas nanofibras foram utilizados potenciais elétricos entre 15 e 20 kV e distância agulha coletor entre 10 e 15 cm.

As nanofibras obtidas possuem uma ampla aplicabilidade que vão desde a medicina até mesmo para a blindagem eletromagnética, tudo vai depender do aditivo utilizado, juntamente com os polímeros eletrofiados conforme mostrado na Figura 3, tendo estes a função de estrutura - *scaffolds*. Em diversos casos ocorre um sinergismo quando combinado estes polímeros com os aditivos.

### 3 | CONCLUSÃO

O desenvolvimento de nanofibras poliméricas permite a ampliação da gama de aplicações de polímeros que normalmente são processados por técnicas

usuais, como *casting*, sopro ou moldagem. A técnica de eletrofiação permite o uso dos polímeros como materiais inteligentes, ou seja, não têm apenas a função de preenchimento, agindo de maneira precisa para determinada aplicação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro das agências de fomento FAPESP (nº do processo 2016/06288-4 e 2019/06609-3), CAPES-PRINT, INEO-CNPq. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

ABDEL-WAHAB, Adel A.; MURMU, Tony; OLABI, Abdul G. Applications of magnetorheological (MR) fluids in the biomedical field. In: **Reference Module in Materials Science and Materials Engineering**. Elsevier Limited, 2018. p. 1-25.

ADHIKARI, Basudam; MAJUMDAR, Sarmishtha. Polymers in sensor applications. **Progress in polymer science**, v. 29, n. 7, p. 699-766, 2004.

BAI, Hua; SHI, Gaoquan. Gas sensors based on conducting polymers. **Sensors**, v. 7, n. 3, p. 267-307, 2007.

BHARDWAJ, Nandana; KUNDU, Subhas C. Electrospinning: a fascinating fiber fabrication technique. **Biotechnology advances**, v. 28, n. 3, p. 325-347, 2010.

BOGUE, Robert. Smart materials: a review of recent developments. **Assembly Automation**, 2012.

CARLSON, J. David. Magnetorheological fluids. In: **Smart Materials**. CRC Press, 2008. p. 300-307.

CATALANI, Luiz H.; COLLINS, George; JAFFE, Michael. Evidence for molecular orientation and residual charge in the electrospinning of poly (butylene terephthalate) nanofibers. **Macromolecules**, v. 40, n. 5, p. 1693-1697, 2007.

CELESTE, Wanderley Cardoso; SCHNEEBELI, Hans Jörg Andreas. Uma ferramenta gráfica para simulação e animação em 3D de sistemas microeletrônicos de estado sólido. **VII SBAI-Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente/II IEEE LARS, São Luis**, 2005.

CHUNG, Deborah DL. Composites get smart. **Materials today**, v. 5, n. 1, p. 30-35, 2002.

COSTA, Rodrigo GF et al. Eletrofiação de Polímeros em Solução: parte I: Fundamentação Teórica. **Polímeros**, v. 22, n. 2, p. 170-177, 2012.

CUERVA, Cristián et al. Platinum (II) metallomesogens: new external-stimuli-responsive photoluminescence materials. **Chem Eur J**, v. 22, p. 10168-10178, 2016.

FEYNMAN, Richard P. There's plenty of room at the bottom. **California Institute of Technology, Engineering and Science magazine**, 1960.

HUANG, Tao et al. Human walking-driven wearable all-fiber triboelectric nanogenerator containing electrospun polyvinylidene fluoride piezoelectric nanofibers. **Nano Energy**, v. 14, p. 226-235, 2015.

KIM, Min et al. Flexible lateral organic solar cells with core–shell structured organic nanofibers. **Nano Energy**, v. 18, p. 97-108, 2015.

KWON, Oh Seok et al. Novel flexible chemical gas sensor based on poly (3, 4-ethylenedioxythiophene) nanotube membrane. **Talanta**, v. 82, n. 4, p. 1338-1343, 2010.

LAMPERT, Carl M. Large-area smart glass and integrated photovoltaics. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 76, n. 4, p. 489-499, 2003.

LANTADA, Andrés Díaz. Optoactive and Photoactive Materials for Biodevices. **Handbook of Active Materials for Medical Devices: Advances and Applications**, p. 341, 2011.

LI, Yang et al. Multilayer assembly of electrospun/electrosprayed PVDF-based nanofibers and beads with enhanced piezoelectricity and high sensitivity. **Chemical Engineering Journal**, v. 388, p. 124205, 2020.

MARASCHIN, Thuany Garcia. **Preparação de óxido de grafeno e óxido de grafeno reduzido e dispersão em matriz polimérica biodegradável**. 2016. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

NIA, Elham Maghsoudi; ZAWAWI, Noor Amila Wan Abdullah; SINGH, Balbir Singh Mahinder. A review of walking energy harvesting using piezoelectric materials. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2017. p. 012026.

ROBERTS, Rachel Howser; MO, Yi-Lung. Development of carbon nanofiber aggregate for concrete strain monitoring. In: **Innovative Developments of Advanced Multifunctional Nanocomposites in Civil and Structural Engineering**. Woodhead Publishing, 2016. p. 9-45.

SALES, Felipe. **Grafeno e suas aplicações**. Disponível em: [http://www.dsc.ufcg.edu.br/~pet/jornal/outubro2013/materias/innovacoes\\_tecnologicas.html](http://www.dsc.ufcg.edu.br/~pet/jornal/outubro2013/materias/innovacoes_tecnologicas.html) Acesso em: 07 de julho de 2020.

SPICHIGER-KELLER, Ursula E. **Chemical sensors and biosensors for medical and biological applications**. John Wiley & Sons, 2008.

SWART, Jacobus W. Evolução de microeletrônica a micro-sistemas. **CCS e FEEC-Unicamp**, 2000.

WU, Ming-Chung et al. Nanostructured polymer blends (P3HT/PMMA): Inorganic titania hybrid photovoltaic devices. **Solar energy materials and solar cells**, v. 93, n. 6-7, p. 961-965, 2009.

YANG, Jyun-Chi; HO, Yu-Chieh; CHAN, Yang-Hsiang. Ultrabright Fluorescent Polymer Dots with Thermochromic Characteristics for Full-Color Security Marking. **ACS applied materials & interfaces**, v. 11, n. 32, p. 29341-29349, 2019.

ZHANG, J. X. J.; HOSHINO, K. Implantable Sensors. **Molecular Sensors and Nanodevices; William Andrew: Waltham, MA**, p. 415-465, 2014.

# CAPÍTULO 10

## PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE TRANSISTORES DE FILME FINO DE ÓXIDOS METÁLICOS PROCESSADOS POR SOLUÇÃO

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 07/07/2020

### João Mendes

Universidade Estadual Paulista (UNESP)  
Rio Claro - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/6372793630764553>

### João Paulo Braga

Universidade Estadual Paulista (UNESP)  
São José do Rio Preto - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/4334972655859185>

### Giovani Gozzi

Universidade Estadual Paulista (UNESP)  
Rio Claro - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/9558766197624072>

### Lucas Fugikawa-Santos

Universidade Estadual Paulista (UNESP)  
Rio Claro - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/0101178832675166>

**RESUMO:** Atualmente busca-se a produção de componentes eletrônicos por técnicas de deposição/impressão dos materiais ativos na forma líquida (soluções ou suspensões), visando a redução dos custos de produção, a produção em larga escala e aplicações emergentes, como internet das coisas (IoT), embalagens inteligentes etc. Na presente pesquisa, apresentamos os princípios básicos de operação, os métodos de produção e os resultados da caracterização elétrica de transistores de filme fino (TFTs) com os materiais ativos depositados por técnicas

de deposição na forma líquida (*spin-coating* e pirólise por *spray*). Estudamos a influência da composição de soluções precursoras de nitrato de alumínio nonoidratado e da temperatura de conversão térmica deste precursor em óxido de alumínio nas propriedades de capacitores produzidos com óxido de alumínio depositado por *spin-coating*. Obtivemos capacitores com baixos valores de corrente de fuga (< 1 nA) e capacitâncias por unidade de área entre  $2.10^{-3}$  e  $3.10^{-3}$  F/m<sup>2</sup> utilizando soluções precursoras aquosas compostas por 0,5 M de nitrato de alumínio nonoidratado e 1,25 M de ureia, que sofreram um processo de combustão a 350 °C, resultando em filmes finos (< 100 nm) óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ). Os filmes de  $Al_2O_3$  obtidos por combustão foram utilizados como camada dielétrica de TFTs produzidos utilizando a camada ativa composta por óxido de zinco (ZnO) produzido por pirólise via nebulização (*spray*) de um precursor orgânico (acetato de zinco). Os TFTs produzido apresentaram um desvio padrão inferior a 11 % em seus principais parâmetros de desempenho elétrico, como mobilidade de portadores na ordem de 30 cm<sup>2</sup>/V.s, tensão de limiar (*threshold*) em torno de 1,0 V e taxa de variação sub-limiar (*subthreshold swing*, *SS*) de 0,72 V/década.

**PALAVRAS-CHAVE:** Transistores de filme fino, caracterização elétrica, óxidos metálicos, semicondutores, processamento por solução.

# PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF SOLUTION-PROCESSED METAL OXIDE THIN-FILM TRANSISTORS

**ABSTRACT:** The production of electronic components by the deposition/printing of active materials from solutions or liquid suspensions aims the reduction of production costs, the large-scale production and the application in emerging technologies, such as Internet of Things (IoT), smart packaging, etc. The current research presents the basic principles of operation, the production methods and the results from the electrical characterization of thin film transistors (TFTs) with the active materials deposited by solution-based techniques such as spin-coating and spray pyrolysis. We studied the influence of the composition of nono-hydrated aluminum nitrate precursor solutions and of the precursor conversion temperature on the properties of capacitors produced by spin-coating. We obtained capacitors with low leakage current values ( $<1$  nA) and capacitances per unit area between  $2 \cdot 10^{-3}$  and  $3 \cdot 10^{-3}$  F/m<sup>2</sup>, using aqueous precursor solutions composed of 0.5 M of non-hydrated aluminum nitrate and 1.25 M urea, which, after a combustion process at 350°C, resulted in aluminum oxide ( $Al_2O_3$ ) thin films ( $<100$  nm). The  $Al_2O_3$  films obtained by combustion were used as the dielectric layer of TFTs with the active layer comprised by spray-pyrolysis zinc oxide (ZnO) films from an organic precursor (zinc acetate). The TFTs presented a standard deviation of less than 11% in their main electrical performance parameters, such as the mobility of carriers (in the order of 30 cm<sup>2</sup>/V.s), threshold voltage around 1.0 V and subthreshold swing (SS) of 0.72 V/decade.

**KEYWORDS:** Thin film transistors, electrical characterization, metal oxides, semiconductors, solution processing.

## 1 | INTRODUÇÃO

Óxidos metálicos são materiais com diversas possibilidades de aplicação na indústria, por exemplo, revestimento anticorrosivo (LUTHRA, 1991), como agente catalítico (TROTOCHAUD *et al.*, 2012), como material ativo de sensores químicos e ou biológicos (JUNG *et al.*, 2014), (CHEN *et al.*, 2017) frequently fatal human disease for which there is no specific antiviral treatment. Therefore, rapid, accurate, and early diagnosis of Ebola virus disease (EVD) e em dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos (BRAGA *et al.*, 2019), (HUANG *et al.*, 2009). Em eletrônica, a aplicabilidade destes materiais é motivada pela possibilidade de se obter camadas dielétricas (isolantes) (BRANQUINHO *et al.*, 2014), semicondutoras (FORTUNATO; BARQUINHA; MARTINS, 2012) ou condutoras de corrente elétrica (WANG *et al.*, 2019). Além disso, óxidos metálicos podem apresentar transparência óptica na região do visível, possibilitando a produção de componentes eletrônicos transparentes (YANG *et al.*, 2013), impressão via jato de tinta (*ink-jet*) (SYKORA; WANG; VON SEGGERN, 2016), centrifugação (*spin-coating*) (MOREIRA *et al.*, 2019), e pirólise assistida por nebulização (*spray-pyrolysis*) (LIMA *et al.*, 2020.).

O processamento por solução apresenta vantagens pelo fato de empregar

equipamentos de menor custo, por permitir a produção em larga escala e a utilização de baixas temperaturas de processamento. Além disso, essa categoria de processos possibilita a produção de dispositivos sobre superfícies flexíveis, com potencial aplicabilidade em áreas emergentes, como internet das coisas (IoT, *internet of things*) e dispositivos “vestíveis” (*wearable devices*). Visando a produção de novos dispositivos eletrônicos produzidos com óxidos metálicos processados por solução com alto desempenho, muitos estudos recentes vêm sendo realizados no sentido de se obter novos materiais precursores, assim como métodos inovadores de processamento (BRANQUINHO *et al.*, 2014).

O foco do estudo atual é a produção e caracterização elétrica de dispositivos eletrônicos (em especial, transistores de filme fino) tendo como camadas dielétrica e semicondutora óxidos metálicos produzidos por solução. Como a camada dielétrica de um TFT precisa ser feita a partir de um material altamente isolante, utilizamos óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) produzido por combustão e depositado por *spin-coating*. Por outro lado, as camadas semicondutoras dos transistores foram produzidas por spray-pirólise a partir de soluções de um precursor orgânico, dando origem a filmes finos (< 50 nm) de óxido de zinco (ZnO).

O presente capítulo está dividido em 4 seções: na primeira, apresentamos os conceitos básicos de funcionamento de transistores de filme fino, na segunda, apresentamos os materiais e métodos experimentais utilizados, na terceira, os resultados da caracterização elétrica dos dispositivos e na última, as conclusões do trabalho.

## 1.1 Transistores de filme fino

Transistores de filmes finos (TFTs) são dispositivos eletrônicos amplamente utilizados na indústria eletrônica, que servem para modular, através do campo elétrico, a corrente elétrica em um determinado circuito eletrônico. Eles permitem, entre outras funcionalidades, que sinais analógicos possam ser convertidos para digitais. São, portanto, dispositivos eletrônicos que compõem os pilares da indústria eletrônica e de informática, estando presentes aos milhões em aparelhos como telefones celulares, computadores, memórias, displays etc. Limitações inerentes aos materiais semicondutores tradicionalmente utilizados na indústria eletrônica, no entanto, tornam necessária a busca por novos materiais que apresentem melhor desempenho ou melhores condições de processamento. Nesse aspecto, semicondutores como o óxido de zinco e compostos afins e isolantes como o óxido de alumínio apresentam grandes vantagens quando comparados com compostos à base de silício (semicondutor) e óxido de silício (isolante).

De uma forma geral, um TFT é composto por três contatos elétricos (porta, fonte e dreno), uma camada isolante e uma camada semicondutora. A figura 1-a

ilustra esquematicamente um TFT em uma estrutura *porta-inferior/contatos-superiores* (*bottom-gate/top-contact*), que foi utilizada em todos os transistores produzidos no presente trabalho.

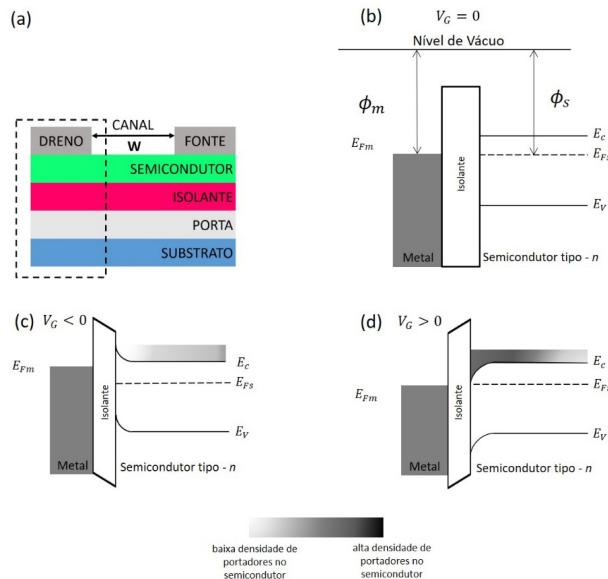


Figura 1: a) Diagrama esquemático de um TFT em uma estrutura *porta-inferior/contatos-superiores* (*bottom-gate/top-contact*), utilizada em todos os transistores produzidos em nosso trabalho. A área destacada pela linha pontilhada é o equivalente a um capacitor MIS (metal-isolante-semicondutor), cuja estrutura de bandas em função da tensão aplicada no eletrodo de porta ( $V_G$ ) é representada nas demais figuras; (b) condição de bandas planas (*flat band*), onde  $V_G = 0$ ; (c) condição de depleção,  $V_G < 0$ ; (d) condição de acumulação  $V_G > 0$ . Os diagramas de energia levam em conta um semicondutor tipo *n*.

Os dois eletrodos de dreno (*drain*) e de fonte (*source*) são depositados sobre a camada semicondutora, formando contatos ôhmicos. O eletrodo de porta (*gate*), por outro lado, está isolado do semicondutor pela camada dielétrica (isolante). A corrente elétrica entre o dreno e a fonte ( $I_{DS}$ ), no entanto, é controlada pela tensão aplicada na porta ( $V_G$ ). Como a camada dielétrica deve ser altamente isolante, em um TFT com bom desempenho, a corrente no eletrodo de porta ( $I_G$ ) deve ser muito baixa (nula, no caso ideal) comparada com  $I_{DS}$ . Dessa forma, um TFT também faz parte de uma classe mais geral formada pelos *transistores de efeito de campo*. A região do semicondutor entre os eletrodos de fonte e dreno é comumente chamada de canal, apresentando geometria caracterizada pela espessura da camada semicondutora ( $d_s$ ), a largura do canal,  $W$ , (distância entre os eletrodos de fonte e

dreno) e o comprimento dos eletrodos de fonte e dreno ( $L$ ).

A dinâmica de operação de um TFT depende do caráter do semicondutor utilizado, se os portadores majoritários de cargas são lacunas (tipo  $p$ ) ou elétrons (tipo  $n$ ). No nosso caso, utilizamos o óxido de zinco como semicondutor, que é um semicondutor de energia de *gap* larga ( $\sim 3.34$  eV), mas que, por causa de defeitos estruturais que ocorrem naturalmente durante a sua formação, possui caráter similar ao de um semicondutor tipo  $n$  (BRAGA *et al.*, 2019). A seção destacada pela linha tracejada da Fig. 1-a mostra a seção transversal de uma camada metal(porta)/isolante/sementeador/metal(dreno). Como o contato do semicondutor com o dreno é considerado ôhmico, consideramos somente os diagramas de bandas da estrutura metal/isolante/sementeador (MIS). Essa estrutura se comporta de forma equivalente a um capacitor cuja capacidade pode variar de acordo com a frequência, a amplitude e a polaridade do sinal de tensão aplicado na porta ( $V_G$ ), conhecido por capacitor MIS.

A compreensão da condição da estrutura de bandas do semicondutor na estrutura MIS em função da tensão aplicada  $V_G$  é de fundamental importância para a explicação do mecanismo de operação de um TFT. A Fig. 1-b representa a condição de bandas planas ( $V_G = 0$ ), enquanto a Fig. 1-c representa a condição de depleção ( $V_G < 0$ ) e a Fig. 1-d, a condição de acumulação ( $V_G > 0$ ). Na Fig. 1-b,  $\phi_m$  representa a função trabalho do metal (eletrodo de porta),  $\phi_s$ , a função trabalho do semicondutor,  $E_{Fm}$ , nível de Fermi do metal,  $E_{Fs}$ , o nível de Fermi do semicondutor tipo  $n$ ,  $E_c$ , o nível menos energético da banda de condução do semicondutor e  $E_v$ , o nível mais energético da banda de valência do semicondutor. A diferença em energia entre a banda de condução e a banda de valência define o intervalo em energia da banda proibida (“gap” energético) do semicondutor, ou seja: (ORTIZ-CONDE *et al.*, 2002) ( SERGIO M. REZENDE, 2014).

Quando uma diferença de potencial elétrico  $V_G$  diferente de zero (como nas Fig. 1-c e 1-d) é aplicada, a estrutura de bandas do semicondutor é distorcida em relação à condição de bandas planas (Fig. 1-b). Para  $V_G < 0$ , o nível mais baixo da banda de condução próximo à interface semicondutor isolante se afasta do nível de Fermi em relação à região do volume do semicondutor. Dessa forma, nessa região, a densidade de portadores livres na banda de condução é reduzida em comparação com condição de bandas planas. Dessa forma, na interface isolante/sementeador, o semicondutor apresenta uma condutividade reduzida por causa da depleção dos portadores de carga. Consequentemente, esta condição é denominada de *depleção*. Para  $V_G > 0$ , por outro lado, o nível mais baixo da banda de condução próximo à interface semicondutor isolante se aproxima do nível de Fermi em relação à região do volume do semicondutor, aumentando a densidade de portadores móveis próximo à interface isolante/sementeador, aumentando a condutividade dessa região. Por

esta razão, esta condição é conhecida como condição de *acumulação*.

No regime de depleção, a camada semicondutora torna-se praticamente isolante e a estrutura MIS se comporta como um capacitor de dupla camada (dielétrico + semicondutor) cuja espessura efetiva é igual à soma da espessura da camada dielétrica e da camada semicondutora ( $d_{efetiva} = d_i + d_s$ ). No regime de acumulação, por outro lado, a camada semicondutora opera como eletrodo de um capacitor e a estrutura se comporta como sendo um capacitor formado somente pela camada dielétrica, com uma espessura efetiva menor ( $d_{efetiva} \approx d_i$ ), o que resulta em um aumento da capacitância efetiva do dispositivo (ORTIZ-CONDE *et al.*, 2002) (SERGIO M. REZENDE, 2014).

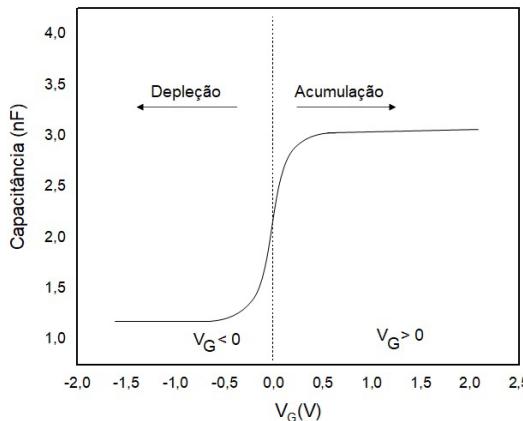


Figura 2: Esboço da curva C x  $V_G$ , em uma estrutura MIS ideal, com uma camada semicondutora do tipo-n, mostrando os regimes de depleção e acumulação.

A Figura 2 mostra um esboço da dependência da capacitância de uma estrutura MIS em função da tensão ( $V_G$ ) aplicada. Conforme descrito, na condição de acumulação, a capacitância da estrutura MIS é igual à associação em série de um capacitor formado pela camada dielétrica ( $C_i$ ) e um capacitor formado pela camada semicondutora ( $C_s$ ):

$$C_{MIS} = \frac{C_i C_s}{C_i + C_s} = A \varepsilon_0 \varepsilon_i \left( \frac{1}{\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_0} d_s + d_i} \right) \quad (1)$$

Onde  $\varepsilon_0$  é a permissividade elétrica do vácuo,  $A$ , a área dos eletrodos e  $\varepsilon_i$  e  $\varepsilon_s$  são, respectivamente as constantes dielétricas do dielétrico e do semicondutor. a espessura do capacitor MIS respectivamente.

Na condição de acumulação, a espessura da camada semicondutora na expressão da capacitância dada pela equação (1) pode ser aproximada pra zero, fazendo com que a capacitância efetiva da estrutura MIS seja aproximadamente

igual à capacidade somente da camada dielétrica:

$$C_{MIS} \approx \frac{A\epsilon_0\epsilon_i}{d_i} = C_i \quad (2)$$

Como o resultado da equação (2) vai ser sempre numericamente igual ou maior que o resultado da equação (1), a capacidade na condição de acumulação sempre será igual ou maior que a capacidade na condição de depleção.

No presente estudo, produzimos TFTs com a camada dielétrica formada por  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , que é um material que apresenta valores de constante dielétrica relativamente altos (entre 10 e 11) (FUMAGALLI *et al.*, 2008), em comparação com a do dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), (3.7 - 3.9), que é o material mais empregado atualmente na produção de TFTs. Adicionalmente, o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  apresenta um elevado valor de energia de *gap* (superior a 7 eV) (FRENCH, 1990) e alta resistividade elétrica (apresentando, consequentemente, baixos valores de corrente de fuga através do eletrodo de porta) (MARDARE *et al.*, 2012) PEN; polyethylene terephthalate, PET; polyimide, PI and glass for comparison. Por estas razões, inúmeros trabalhos relatam o uso do  $\text{Al}_2\text{O}_3$  para a produção de capacitores e transistores (BRANQUINHO *et al.*, 2014) (HONG *et al.*, 2010).

Os regimes de acumulação e de depleção descritos acima determinam se o canal dos TFTs está em uma condição apropriada ou não para a passagem de corrente no semicondutor. Portanto, dependendo da tensão aplicada na porta ( $V_G$ ), a densidade de portadores de cargas na interface semicondutor/isolante (e, consequentemente a corrente no canal) pode variar várias ordens de grandeza. Portanto, costuma-se dizer que a corrente no canal ( $I_{DS}$ ) é *modulada* pela tensão  $V_G$  aplicada na porta.

A corrente do canal ( $I_{DS}$ ) depende, além da tensão aplicada entre os eletrodos de dreno e fonte ( $V_{DS}$ ), da densidade ( $N$ ) e da mobilidade ( $\mu$ ) dos portadores no semicondutor, da largura do canal ( $W$ ), da espessura da camada semicondutora ( $d_s$ ) e do comprimento do canal ( $L$ ), conforme representado na equação (3):

$$I_{DS} = (d_s \cdot W) \cdot N \cdot \mu \cdot \frac{V_{DS}}{L} \quad (3)$$

$$I_{DS} = \sigma \frac{W}{L} V_{DS} \quad (4)$$

Alternativamente, a corrente elétrica do canal pode ser representada em termos da condutividade ( $s$ ) do canal, equação (4). A densidade de portadores livres é controlada pela diferença de potencial aplicada à porta do dispositivo ( $V_G$ ), dependendo do regime (acumulação ou depleção) imposto à estrutura MIS. Portanto, na condição de depleção, a condutividade elétrica do canal será reduzida, uma vez que a região do canal se encontra depletada de portadores livres de carga. Nesta

condição, a corrente elétrica do canal é chamada de corrente no estado “desligado” ( $I_{off}$ ), pois considera-se que o transporte de cargas é “desligado” na condição de depleção.

Na condição de acumulação, a densidade de portadores disponíveis para o transporte de cargas (livres) no canal é controlada pela carga acumulada na região do canal (de acordo com a estrutura MIS descrita anteriormente) conforme mostra a equação (5) abaixo:

$$N = \frac{Q}{d_s \cdot A} = \frac{C_i}{d_s} \cdot V_G \quad (5)$$

$$I_{DS} = (d_s \cdot W) \cdot \frac{C_i}{d_s} V_G \cdot \mu \cdot \frac{V_{DS}}{L} \quad (6)$$

$$G = \frac{W}{L} \cdot C_i \cdot \mu \cdot V_G \quad (7)$$

Deste modo, a corrente no canal pode ser descrita pela equação (6) e a condutância do canal, pela equação (7). Embora estas relações descrevam uma condição de operação particular (válida apenas para  $V_{DS} \ll V_G$ ) na qual a densidade de portadores de cargas é uniforme ao longo do canal, pode-se verificar como a condutância do canal ( $G$ ) é modulada pela tensão da porta. Contudo, de maneira mais geral, a distribuição de portadores de cargas ao longo do canal é dependente da diferença de potencial  $V_{DS}$  e da tensão de limiar (*threshold voltage*,  $V_{th}$ ), que é a igual à tensão necessária para compensar defeitos (neutros ou carregados) que aprisionam portadores livres acumulados no canal pelo efeito de campo. Neste caso mais geral, a equação (7) é corrigida, conforme mostra a equação (8):

$$I_{DS} = \frac{WC_i}{L} \mu (V_G - V_{th} - \frac{V_{DS}}{2}) V_{DS} \quad (8)$$

Um TFT pode ser caracterizado a partir de duas curvas características: i) a curva de “saída” (Fig. 3-a) e curva de “transferência” (Fig. 3-b). Na curva de saída, o dispositivo é caracterizado pela relação entre  $I_{DS}$  e  $V_{DS}$  obtida para diferentes valores de  $V_G$ . A curva de saída apresenta os diferentes regimes de operação de um TFT. Para  $|V_{DS}| \ll |V_G - V_{th}|$  verifica-se o regime linear, para o qual a distribuição de portadores de carga ao longo do canal é aproximadamente uniforme e  $I_{DS}$  varia linearmente com  $V_{DS}$ . No regime de saturação, em que  $I_{DS}$  é independente de  $V_{DS}$ , ocorre para valores de  $V_{DS}$  superiores a  $|V_G - V_{th}|$ , em que o potencial do dreno passa a ser alto o suficiente para criar uma região de depleção no canal e cuja extensão aumenta linearmente com  $V_{DS}$ , evitando que  $I_{DS}$  continue a crescer com o aumento de  $V_{DS}$  (condição de “pinch-off”).

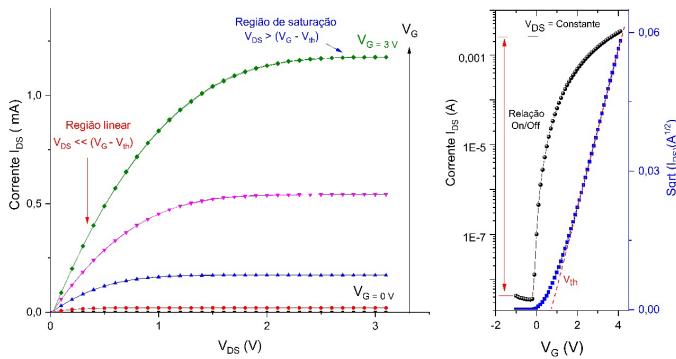


Figura 3: Curvas características de um TFT, sendo (a) curva de saída e (b) curva de transferência.

Como a maior parte das aplicações envolvem a utilização dos TFTs no regime de saturação, é comum se determinar a mobilidade dos portadores nesta condição, embora a densidade de portadores livres no canal não seja tão uniforme quanto no regime linear. Para se determinar a mobilidade, utilizamos a curva de transferência ( $I_{DS}$  vs.  $V_G$ ) em um determinado valor de  $V_{DS}$  para o qual a condição de saturação é satisfeita. No regime de saturação, a corrente do canal ( $I_{DS}$ ) é dada por:

$$I_{DS} = \frac{WC_i}{L} \mu \frac{(V_G - V_{th})^2}{2} \quad (9)$$

Assim, a mobilidade dos portadores de carga, no regime de saturação, pode ser determinada a partir de curvas de transferência empregando-se a relação:

$$\mu_{sat} = \frac{2L}{WC_i} \left( \frac{\partial \sqrt{I_{DS}}}{\partial V_G} \right) \quad (10)$$

Portanto,  $\mu_{sat}$  pode ser determinada através do coeficiente linear do gráfico de  $(I_{DS})^{1/2}$  vs.  $V_G$  no regime de saturação. O valor de  $V_{th}$ , por outro lado, é determinado através da intersecção da reta obtida com o eixo das abscissas, conforme mostra a Fig. 3-b (BRAGA *et al.*, 2019).

Dois outros parâmetros de desempenho importantes para um TFT é a razão entre as correntes no canal quando ele está acumulação e quando ele está em depleção (razão “on/off” ou somente  $I_{on}/I_{off}$ ) e a taxa de variação sub-limiar (*subthreshold swing* - SS). O SS é definido como a variação da diferença de potencial  $V_G$  necessária para incrementar  $I_{DS}$  em uma década na região da curva de transferência antes de se atingir  $V_{th}$ . Portanto, o SS pode ser obtido pela curva de transferência tomando-se a relação:

$$SS^{-1} = \frac{\partial}{\partial V_G} \log(I_{DS}) \quad (11)$$

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Os TFTs produzidos neste trabalho utilizaram óxido de zinco (ZnO) como material semicondutor e óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) como isolante. Os materiais semicondutor e isolante foram depositados utilizando soluções precursoras através das técnicas de *spin-coating* e spray-pirólise, respectivamente. Os transistores foram produzidos com arquitetura porta-inferior/contato-superior empregando-se eletrodos de dreno e fonte de alumínio depositados por evaporação térmica em alto vácuo através de máscaras mecânicas. O emprego de eletrodos de alumínio nos contatos é conveniente por se tratar de um material estável em condições ambientais e por formar contatos ôhmicos com o óxido de zinco.

Os transistores foram produzidos em cinco fases básicas de processamento. A primeira fase consistiu na preparação dos substratos sobre os quais os transistores foram produzidos. Nesta etapa, forma obtidos substratos de vidro, com dimensões de 18,5 de largura, 25 mm de comprimento e 1 mm de espessura, a partir de lâminas de microscópio. Estes substratos foram limpos empregando-se três etapas de imersão em diferentes meios durante 15 minutos. No primeiro processo os substratos foram imersos em uma solução aquosa de detergente alcalino (Êxodo Científica, Detertex Alca), a 20% em volume, aquecida a 60 °C e em agitação ultrassônica (Soni-tech, SONI-TOP 402A). O segundo e o terceiro processo de limpeza foram realizados em temperatura ambiente com imersões em acetona e isopropanol respectivamente, ambos os solventes com grau de pureza analítica. Após as etapas de limpeza por imersão, os substratos foram submetidos a um processo de limpeza por plasma de rádio-frequencia (Harrick Plasma, PDC-32G) com potência média (10.5 W), durante 10 minutos.

O eletrodo inferior dos transistores foi produzido na segunda etapa de processamento. Na estrutura utilizada por nós, o eletrodo inferior constitui, juntamente com a camada isolante, a porta dos TFTs. Estes eletrodos foram depositados por evaporação térmica de alumínio em alto vácuo (HHV modelo Auto306) utilizando um padrão de uma faixa de 3 mm de largura, 18,5 mm de comprimento e 100 nm de espessura.

Na terceira etapa de fabricação, a camada dielétrica de  $Al_2O_3$  foi depositada sobre o eletrodo inferior a partir da combustão de um filme de obtido a partir de soluções aquosas de nitrato de alumínio nonohidratado (Neon, 01774) e de ureia (Sigma-Aldrich, U5378), em diferentes concentrações dos seus componentes, conforme apresentado na Tabela I. Estas soluções foram mantidas sob agitação constante durante 48 horas e, em seguida, foram depositadas pela técnica *spin-coating* (Laurell, WS-400BZ-6NPP/LITE) na condição de rotação constante (2000 rpm), durante 35 s. A conversão dos componentes precursores em óxido de alumínio

foi realizada pela técnica de combustão submetendo as amostras à temperatura de 350 °C durante 30 minutos. Para a obtenção das camadas isolantes, foram realizadas 2 etapas de deposição das soluções precursoras de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , mais uma etapa final de tratamento térmico a 350 °C, por 60 minutos.

PARÂMETRO VARIADO	VARIACÕES
Concentração de $\text{Al}_2\text{O}_3$ (M)	0,1; 0,3; 0,5 e 1
Número de camadas	1; 2 e 4
Temperatura de queima (°C)	300; 350; 400 e 500
Proporção entre $\text{Al}_2\text{O}_3$ e Ureia	1:0, 1:1, 1:2,5 e 1:5

Tabela I. VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS NA FABRICAÇÃO DO DIELÉTRICO

Na quarta etapa de fabricação, o semicondutor (ZnO) foi depositado sobre a camada dielétrica produzida na etapa anterior. A deposição desta camada foi realizada a partir de uma solução precursora de acetato de zinco diidratado (Sigma-Aldrich, 383058) em metanol (Tedia, MS1922-001), a uma concentração de 0,1 M. A solução precursora foi depositada empregando-se a técnica de spray-pirólise empregando-se a metodologia e o equipamento descrito por DE LIMA *et al.* (DE LIMA *et al.*, 2020). A camada semicondutora foi obtida pelo método de deposição intermitente com três sequências de deposição e conversão térmica do material precursor em óxido de zinco. Neste processo, tanto a deposição quanto a conversão térmica foram realizadas a 350 °C. Cada etapa de deposição foi realizada com duração de 5 segundos e cada etapa de conversão térmica foi realizada com duração de 1 minuto.

Na quinta e última etapa de fabricação, os eletrodos de alumínio da fonte e do dreno foram depositados por evaporação térmica (HHV Auto306) com o uso de máscaras mecânicas, para definição do padrão geométrico dos eletrodos. Cada um dos eletrodos foi produzido com 5 mm de comprimento, 0,2 mm de largura e 100 nm de espessura. Adicionalmente, estes eletrodos foram depositados com espaçamento de 0,1 mm entre si. Deste modo, ao final do processo de fabricação dos dispositivos, foram obtidos TFTs com canal de condução com dimensões de 3 mm de comprimento ( $L$ ) e 0,1 mm de largura ( $W$ ).

Além dos TFTs, foram produzidos capacitores empregando-se o mesmo processo para limpeza de substrato e de deposição da camada dielétrica ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), mas sem a deposição da camada semicondutora e dos eletrodos de dreno e fonte. Sobre a camada dielétrica, foram depositados eletrodos de alumínio com 3 mm de largura e 18,5 mm de comprimento, transversais ao eletrodo inferior de alumínio, formando capacitores de ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) com um padrão quadrado de área igual a 9 mm<sup>2</sup>.

Os capacitores foram caracterizados por espectroscopia de impedância (Solatron, modelo SI 1260), que permitiu a determinação da impedância elétrica  $Z$  e do ângulo de fase  $\theta$  em relação à tensão senoidal de excitação, para diferentes valores de frequência angular ( $\omega$ ). Esses dados permitem calcular a componente real da capacitância complexa, que é igual à capacitância equivalente do elemento, dada por:

$$C = \frac{-Z_I}{(2\pi\omega Z^2)} \quad (12)$$

Onde  $Z_I$  representa a componente imaginária da impedância complexa do sistema,  $Z_I = |Z| \cdot \sin(\theta)$ . A capacitância do dispositivo é determinada fazendo a extrapolação dessa componente real da capacitância para valores infinitos de frequência. Por fim, a capacitância por unidade de área dos dispositivos é determinada dividindo o valor de  $C$  obtido pela área do capacitor, de 9 mm<sup>2</sup>.

A caracterização elétrica dos TFTs, foi feita utilizando uma fonte/unidade de medida de corrente/voltagem de duplo canal (Keithley, modelo 2612B) que permite a aplicação e variação simultânea da voltagem entre dreno e fonte ( $V_{DS}$ ) e da voltagem aplicada entre a porta e a fonte ( $V_G$ ) enquanto se mede a corrente no canal ( $I_{DS}$ ) e a corrente através da porta ( $I_G$ ). Dessa forma, é possível se obter tanto a curva de saída quanto a curva de transferência dos TFTs, assim como monitorar a corrente de fuga ( $I_G$ ) através da porta. Todas as medidas de caracterização dos TFTs foram realizadas utilizando softwares próprios desenvolvidos em linguagem Python para controle e aquisição de dados.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo teve como foco a produção de TFTs de filmes finos empregando-se óxidos metálicos depositados por solução tanto na produção da camada dielétrica ( $Al_2O_3$ ) quanto da camada semicondutora (ZnO). A influência da composição da solução precursora e dos parâmetros de conversão térmica do nas propriedades elétricas do material dielétrico foi estudada a partir de medidas de capacitância em filmes de  $Al_2O_3$ , o que permitiu avaliar se o material obtido possuía as propriedades necessárias para compor a camada dielétrica de TFTs. A partir destes resultados, empregamos uma metodologia estudada anteriormente (DE LIMA, 2017) para a produção e caracterização de TFTs onde a camada semicondutora também foi depositada por solução (spray-pirólise).

#### 3.1 Caracterização de capacitores produzidos com óxido de alumínio produzidos por combustão

Os filmes de  $Al_2O_3$  que formaram os capacitores estudados nesta seção forma obtidos a partir de soluções precursoras de nitrato de alumínio nonohidratado e

ureia com diferentes concentrações, onde a proporção molar entre os componentes foi mantida constante em 1/2,5 (nitrato de alumínio nonohidratado/ureia). Na figura 4(a) apresentamos a capacidade dos capacitores em função da concentração molar de nitrato de alumínio nonohidratado na solução precursora. Os resultados mostram uma redução sistemática da capacidade com a elevação da concentração da solução precursora. Este resultado pode estar associado à formação de filmes mais espessos com o aumento da concentração das soluções precursoras, uma vez que soluções mais concentradas apresentam maior viscosidade e, por esta razão, resultam em filmes mais espessos quando depositadas pela técnica de *spin-coating*.

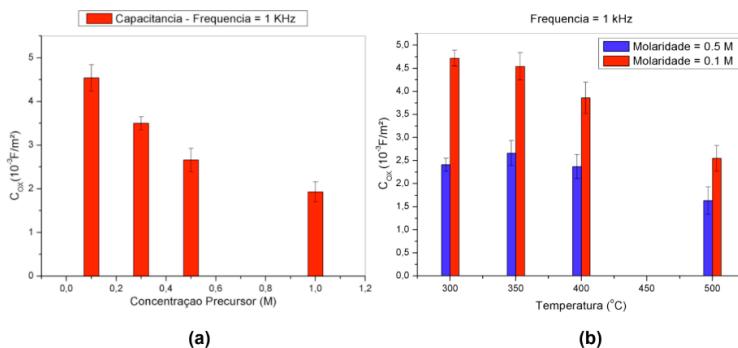


Figura 4. (a) Variação da capacidade por unidade de área ( $C_{ox}$ ) para diferentes concentrações de nitrato de alumínio nonohidratado. Medido à uma frequência de 1 kHz. (b) Variação da temperatura de combustão após a deposição por *spin coating*.

Na figura 4(b) apresentamos resultados de capacidade por unidade de área obtidos a partir de capacitores produzidos com duas soluções precursoras distintas e com diferentes temperaturas de conversão térmica. A partir da solução precursora contendo 0,5 M de nitrato de alumínio nonohidratado, foram obtidos capacitores com valores próximos entre si de capacidade (dentro da indeterminação experimental) para temperaturas de conversão térmica entre 300°C e 400°C. Os capacitores produzidos a partir desta mesma solução, mas preparados com temperatura de conversão térmica de 500 °C, apresentaram, no entanto, valores de capacidade inferiores ao dos demais dispositivos. Para dispositivos produzidos a partir de solução precursora contendo 0,1 M de nitrato de alumínio nonohidratado, foram obtidas valores de capacidade próximos entre si de capacidade (dentro da indeterminação experimental) para as temperaturas de conversão térmica de 300°C e 350°C, e capacidades inferiores para temperaturas de conversão térmica de 400°C e 500 °C. Os casos em que os capacitores apresentaram valores inferiores de capacidade apresentaram também elevada corrente de fuga, indicando que a

redução na capacidade está associada à formação de defeitos na camada isolante dos capacitores.

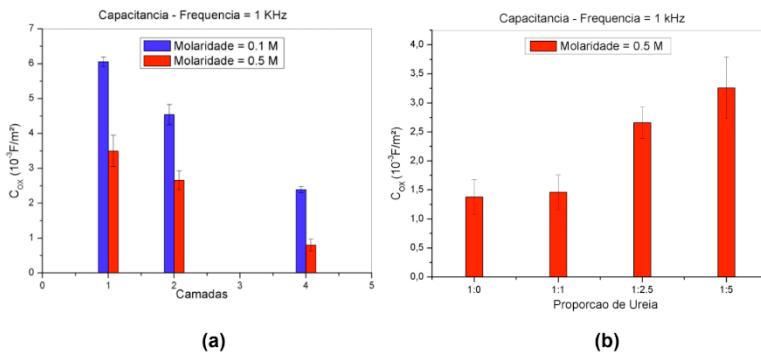


Figura 5. Valores de capacidade para (a) variação do número de camadas e (b) variação da proporção entre nitrato de alumínio nonohidratado e ureia (1:X).

Na figura 5(a), apresentamos os resultados obtidos de capacitores produzidos a partir de soluções precursoras contendo 0,5 e 0,1 M de nitrato de alumínio nonohidratado, a uma temperatura de combustão fixa de 350 °C. Nesta figura, a capacidade dos dispositivos é apresentada em função do número de camadas depositadas. Conforme esperado, com o aumento do número de camadas, observa-se uma clara redução nos valores de capacidade, condizente com a esperada diminuição na espessura da camada isolante. Na figura 5(b), apresentamos resultados obtidos de capacitores produzidos com a deposição de duas camadas a partir de soluções precursoras contendo 0,5 M de nitrato de alumínio nonohidratado, utilizando diferentes proporções de ureia e a uma temperatura de combustão fixa de 350 °C. Neste resultado verifica-se o aumento da capacidade dos dispositivos com o aumento da proporção de ureia em relação ao nitrato de alumínio nonohidratado para proporções superiores a 1:1. Este resultado indica que a presença de ureia na solução precursora auxilia o processo de conversão do precursor nitrato de alumínio nonohidratado em óxido de alumínio, o que resulta em camadas com constante dielétrica mais elevada.

### 3.2 Caracterização de TFTs produzidos com óxido de alumínio e óxido de zinco processados por via úmida

Tendo em vista os resultados prévios das medidas de capacidade da camada dielétrica de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , decidimos fabricar as camadas dielétricas que seriam utilizadas nos TFTs a partir de soluções precursoras contendo 0,5 M de nitrato de alumínio nonohidratado e 1,25 M de Ureia, depositadas em 2 camadas e seguindo

uma etapa de combustão a 350 °C. Os procedimentos para deposição das demais camadas dos TFTs foram mantidos fixos, conforme descritos na seção de materiais e métodos experimentais.

Na figura 6 apresentamos a curva de transferência (Fig. 6-a), obtida com  $V_{DS}$  constante e igual a 1,4 V, e as curvas de saída (Fig. 6-b), obtidas para diferentes tensões aplicadas na porta de um dos transistores obtidos. Os valores dos parâmetros de desempenho, obtidos a partir da caracterização dos sete TFTs, estão apresentados na tabela III.

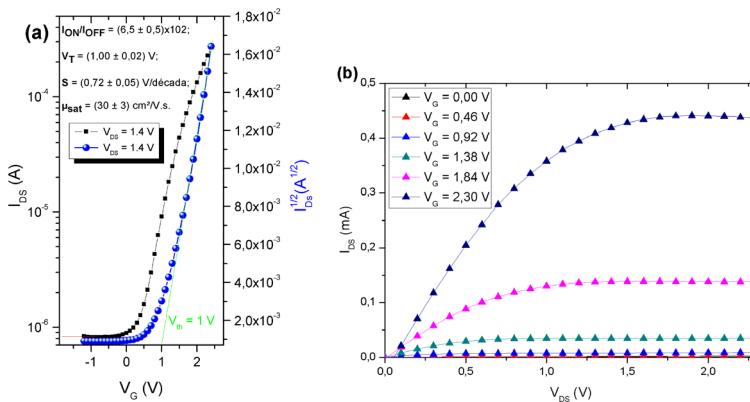


Figura 6. (a) Curva de transferência de um TFT fabricado pelos parâmetros previamente mencionados, a qual mostra os valores de corrente On/Off, tensão de limiar, subthreshold swing e mobilidade de saturação. Valores obtidos mantendo a tensão na fonte constante  $V_G = 1.4$  V. (b) Curvas de saída do dispositivo para diferentes tensões na porta.

Parâmetro	Unidade	Resultado	Desvio
Razão on/off ( $I_{on}/I_{off}$ )	adimensional	$(6,5 \pm 0,5) \times 10^2$	8 %
Tensão de threshold ( $V_{th}$ )	V	$(1,00 \pm 0,02)$	2 %
Subthreshold swing ( $SS$ )	V/década	$(0,72 \pm 0,05)$	7 %
Mobilidade na saturação ( $\mu_{sat}$ )	cm <sup>2</sup> /V.s	$(30 \pm 3)$	10 %
Capacitância/ área ( $C_{ox}$ )	F/m <sup>2</sup>	$(2,7 \pm 0,3) \times 10^{-3}$	11 %

Na tabela III verifica-se que o conjunto de 7 TFTs apresentou boa reprodutibilidade, já que o desvio obtido para os parâmetros de desempenho foi inferior a 11 %. Este resultado indica que o processo para fabricação de TFTs proposto no presente estudo permite elevado controle e a fabricação de dispositivos com boa reprodutibilidade. Estas características do processo proposto são corroboradas pela concordância entre a capacidade da porta apresentada na tabela III e a capacidade dos capacitores produzidos com os mesmos parâmetros (figura 4). Além disso, os

transistores produzidos apresentaram parâmetros de desempenho, como tensão de *threshold*, *subthreshold swing* e mobilidade no regime de saturação comparáveis com os melhores transistores produzidos processados por solução reportados na literatura.

## 4 | CONCLUSÕES

No presente trabalho apresentamos um estudo com o objetivo de fabricar e caracterizar TFTs de filmes finos de óxidos metálicos depositados por técnicas de processamento por solução. Avaliamos como a capacitância de capacitores produzidos com óxido de alumínio como dielétrico é influenciada pela proporção entre nitrato de alumínio nonoidratado e ureia, assim como pela temperatura de combustão. Verificamos que a presença de ureia na solução precursora resulta em capacitores com melhor desempenho e que capacitores produzidos com temperaturas de conversão térmicas superiores a 350 °C apresentam menor capacitância e grande incidência de correntes de fuga, o que significa camadas dielétricas de qualidade inferior.

A análise da variação dos fatores de produção dos filmes de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nas propriedades elétricas de capacitores permitiu que pudéssemos selecionar uma combinação adequada de fatores para a produção da camada dielétrica dos TFTs com a camada ativa composta por ZnO depositado por spray-pirólise. Os transistores obtidos apresentaram uma dispersão nos valores dos principais parâmetros de desempenho elétrico inferior a 11 %, indicando boa reprodutibilidade e controle do processo de fabricação dos dispositivos. Os TFTs produzidos apresentaram também um elevado valor da mobilidade no regime de saturação ( $30 \pm 3$ )  $\text{cm}^2/\text{V.s}$ , o que é difícil de se obter a partir de transistores com a camada composta por ZnO puro. No entanto, outros parâmetros de desempenho como a tensão de *threshold* de ( $1,00 \pm 0,02$ ) V, o *subthreshold swing* de ( $0,72 \pm 0,05$ ) V/década e a relação *on/off* ( $6,5 \pm 0,5$ )  $\times 10^2$  apresentaram valores que, embora toleráveis, ainda precisam melhorar para permitir a aplicação em circuitos eletrônicos comerciais, o que pode ser o foco de um trabalho posterior.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo – FAPESP (processo 2019/08019-9) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

BRAGA, João P. *et al.* **Electrical Characterization of Thin-Film Transistors Based on Solution-Processed Metal Oxides. Design, Simulation and Construction of Field Effect Transistors**, [S. I.], 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.78221>

BRANQUINHO, Rita *et al.* **Aqueous combustion synthesis of aluminum oxide thin films and application as gate dielectric in GZTO solution-based TFTs**. *ACS Applied Materials and Interfaces*, [S. I.], v. 6, n. 22, p. 19592–19599, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/am503872t>

CHEN, Yantao *et al.* **Field-Effect Transistor Biosensor for Rapid Detection of Ebola Antigen**. *Scientific Reports*, [S. I.], v. 7, n. 1, p. 4–11, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11387-7>

DE LIMA, Guilherme R. *et al.* **Optimization of the Electrical Performance of Metal Oxide Thin-film Transistors by varying Spray Deposition Parameters**. *MRS Advances*, [S. I.], v. 357, n. May, p. 1–8, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1557/adv.2018.35>

FORTUNATO, E.; BARQUINHA, P.; MARTINS, R. **Oxide semiconductor thin-film transistors: A review of recent advances**. *Advanced Materials*, [S. I.], v. 24, n. 22, p. 2945–2986, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/adma.201103228>

FRENCH, Roger H. **Electronic Band Structure of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, with Comparison to Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and AlN**. *Journal of the American Ceramic Society*, [S. I.], v. 73, n. 3, p. 477–489, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1990.tb06541.x>

FUMAGALLI, L. *et al.* **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as gate dielectric for organic transistors: Charge transport phenomena in poly-(3-hexylthiophene) based devices**. *Organic Electronics: physics, materials, applications*, [S. I.], v. 9, n. 2, p. 198–208, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2007.11.001>

HONG, Chitsung *et al.* **Liquid crystal alignment in nanoporous anodic aluminum oxide layer for LCD panel applications**. *Nanotechnology*, [S. I.], v. 21, n. 28, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/0957-4484/21/28/285201>

HUANG, Chun Hsien *et al.* **Charge trapping behavior of SiO<sub>2</sub>-Anodic Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> gate dielectrics for nonvolatile memory applications**. *Solid-State Electronics*, [S. I.], v. 53, n. 3, p. 279–284, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sse.2008.12.005>

JUNG, Joohye *et al.* **Approaches to label-free flexible DNA biosensors using low-temperature solution-processed InZnO thin-film transistors**. *Biosensors and Bioelectronics*, [S. I.], v. 55, p. 99–105, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2013.11.076>

LIMA, Guilherme R. *et al.* **On the reproducibility of spray-coated ZnO thin-film transistors**. Disponível em: <https://doi.org/10.1557/adv.20>

LUTHRA, Krishan L. **Stability of Protective Oxide Films on Ti-Base Alloys**. [S. I.], v. 36, p. 475–490, 1991.

Luthra, K.L. **Stability of protective oxide films on Ti-base alloys**. *Oxid Met* 36, 475–490 (1991). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01151593>

MARDARE, Andrei Ionut *et al.* **Ultra-thin anodic alumina capacitor films for plastic electronics**. *Physica Status Solidi (A) Applications and Materials Science, [S. I.]*, v. 209, n. 5, p. 813–818, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pssa.201100785>

MOREIRA *et al.* **Tailoring IGZO Composition for Enhanced Fully Solution-Based Thin Film Transistors**. *Nanomaterials, [S. I.]*, v. 9, n. 9, p. 1273, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nano9091273>

NAG, Manoj *et al.* **High performance a-IGZO thin-film transistors with mf-PVD SiO<sub>2</sub> as an etch-stop-layer**. *Journal of the Society for Information Display, [S. I.]*, v. 22, n. 1, p. 23–28, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsid.212>

ORTIZ-CONDE, A. *et al.* **A review of recent MOSFET threshold voltage extraction methods**. *Microelectronics Reliability, [S. I.]*, v. 42, n. 4–5, p. 583–596, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0026-2714\(02\)00027-6](https://doi.org/10.1016/S0026-2714(02)00027-6)

Sergio M. Rezende; **Materiais & Dispositivos Eletrônicos**. 3<sup>a</sup> Ed. São Paulo, Livraria da física, 2014.

SU, Jinbao *et al.* **Annealing atmosphere-dependent electrical characteristics and bias stability of N-doped InZnSnO thin film transistors**. *Materials Science in Semiconductor Processing, [S. I.]*, v. 113, n. February, p. 105040, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2020.105040>

SYKORA, Benedikt; WANG, Di; VON SEGGERN, Heinz. **Multiple ink-jet printed zinc tin oxide layers with improved TFT performance**. *Applied Physics Letters, [S. I.]*, v. 109, n. 3, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1063/1.4958701>

TROTOCHAUD, Lena *et al.* **Solution-cast metal oxide thin film electrocatalysts for oxygen evolution**. *Journal of the American Chemical Society, [S. I.]*, v. 134, n. 41, p. 17253–17261, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ja307507a>

WANG, Yuntao *et al.* **FlexTouch. Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies, [S. I.]**, v. 3, n. 3, p. 1–20, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3351267>

YAN, Xingzhen *et al.* **Fabrication of silver nanowires and metal oxide composite transparent electrodes and their application in UV light-emitting diodes**. *Journal of Physics D: Applied Physics, [S. I.]*, v. 49, n. 32, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/0022-3727/49/32/325103>

YANG, Byung Do *et al.* **A transparent logic circuit for RFID tag in a-IGZO TFT technology**. *ETRI Journal, [S. I.]*, v. 35, n. 4, p. 610–616, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4218/etrij.13.1912.0004>

# CAPÍTULO 11

## SISTEMA DE MEDAÇÃO PARA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS ATÉ 9 MN

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 04/09/2020

### Frank Omena de Moura

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado  
de São Paulo – IPT  
São Paulo – SP

<http://lattes.cnpq.br/1639571165125752>

### Carlos Alberto Fabricio Junior

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado  
de São Paulo – IPT  
São Paulo – SP

<http://lattes.cnpq.br/5081988727543928>

**RESUMO:** O crescente desenvolvimento de máquinas de ensaio e instrumentos de medição de força de grande porte (capacidades acima de 2 MN), visando atender a indústria nacional, traz consigo a demanda por laboratórios acreditados pela Rede Brasileira de Calibração (RBC) para calibração desses equipamentos, de forma que se obtenha confiabilidade metrológica e rastreabilidade dos mesmos. Atualmente os laboratórios de calibração acreditados pela RBC na grandeza força, possuem capacidade para medição/calibração somente até 2 MN, inclusive o laboratório do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), porém laboratórios do próprio instituto possuem equipamentos com capacidades acima desse valor que necessitam de rastreabilidade. Esse trabalho tem como objetivo apresentar o projeto SMC9MN, desenvolvido pelo IPT, de um

sistema de medição para atender os requisitos necessários a obtenção da acreditação pela Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (Cgcre) para calibração de instrumentos de medição de força até 9 MN, atendendo a ABNT NBR ISO 376.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema de medição, Calibração, Força, Rastreabilidade.

### MEASUREMENT SYSTEM FOR CALIBRATING INSTRUMENTS UP TO 9 MN

**ABSTRACT:** The growing development of test machines and large force measuring instruments (capacities greater than 2 MN), seeking to serve the national industry, brings the demand for laboratories accredited by the Brazilian Calibration Network (RBC) to calibrate these equipments, so that metrological reliability and traceability are obtained. Calibration laboratories accredited by RBC to force are currently only capable of measuring/calibrating up to 2 MN, including the Institute for Technological Research of São Paulo (IPT), but laboratories of the institute itself have equipment with capacities above this value that they need of traceability. This work aims to present the project SMC9MN, developed by IPT, of a measurement system to meet the requirements to obtain accreditation by the General Coordination of Inmetro Accreditation (Cgcre) for calibration of force measuring instruments up to 9 MN, complying with ISO 376.

**KEYWORDS:** Measurement system, Calibration, Force, Traceability.

## 1 | INTRODUÇÃO

A Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) estabeleceu em 1901 que força seja derivada das unidades fundamentais de massa, comprimento e tempo. Em 1960, a CGPM adotou o Newton como a unidade de força no Sistema Internacional de Unidades (SI), onde um Newton é a força exigida para acelerar uma massa de um quilograma a um metro por segundo ao quadrado. Em uma dada localização, a força exercida por um objeto sobre sua base de apoio pode ser determinada a partir da massa do objeto e da aceleração da gravidade, considerando que não existem outras forças verticais atuando sobre o objeto. Embora a unidade de força seja derivada de unidades fundamentais, sua importância é tanta que grande parte dos Institutos Nacionais de Metrologia dos países participantes do Tratado do Metro mantém instalações para a sua realização e disseminação. De fato, medições confiáveis da grandeza, por meio de transdutores de força e equipamentos de ensaios mecânicos, são exigidas em vários setores da economia.

O Laboratório de Metrologia Mecânica do IPT (LMM) desenvolveu um sistema de medição composto por três padrões calibrados até 3 MN cada e dispositivos, como estruturas e articulações, para correção e garantia da uniformidade dos esforços, e utilizando-se de softwares de aquisição de dados, para automatização das leituras. O LMM já realizava calibrações acima de 2 MN, como por exemplo, calibrações de dinamômetros, macacos hidráulicos e máquinas de ensaio, porém utilizando uma máquina de ensaio, com capacidade de 5 MN, como padrão para dinamômetros e macacos hidráulicos ou células de carga, com capacidade de 3 MN, para máquinas de ensaio, emitindo-se apenas certificados rastreados ao Inmetro.

## 2 | MÉTODO

O sistema de medição é composto por três células de carga de 3 MN cada uma, sendo posicionadas para medição em paralelo, de forma que os esforços sejam distribuídos o mais uniformemente quanto possível sobre as mesmas. Para tanto foram utilizados discos de aço na base e topo das células, com área suficiente para cobrir totalmente tanto as bases das células como as áreas de suas articulações. Esses discos foram seguidos por outros discos com diâmetro menor e espessura maior, para reforço e centralização do conjunto.

No topo do conjunto foi utilizada uma articulação, do tipo côncavo convexo, com capacidade para absorção do esforço máximo proposto.

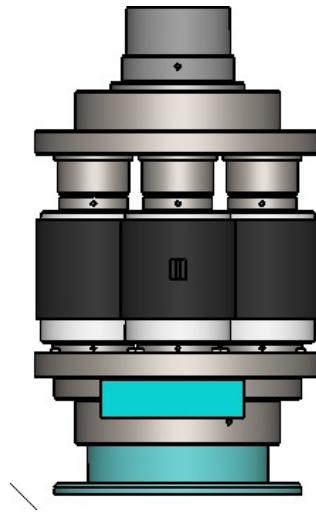


FIGURA 1: DESENHO ESQUEMÁTICO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

Fonte: Autor

### 3 | RESULTADOS OBTIDOS

Para avaliação do comportamento das células dentro do sistema de medição foi feita uma comparação entre os valores das medições realizadas numa faixa entre, 2500 kN e 5100 kN, e os valores calculados a partir da curva de calibração de cada célula, obtidas a partir de seus certificados de calibração.

O gerador de força utilizado foi uma máquina de ensaio de identificação MEC-02, instalada no Laboratório de Ensaios Mecânicos e Estruturas do IPT (LEME).

Resultado do sistema			Valores teóricos			Variação porcentual		
CEL-01	CEL-02	CEL-03	CEL-01	CEL-02	CEL-03	CEL-01	CEL-02	CEL-03
mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	%	%	%
-0,56447	-0,56554	-0,57571	-0,56645	-0,56701	-0,57245	-0,350	-0,259	0,569
-0,67775	-0,67836	-0,69112	-0,67950	-0,68019	-0,68725	-0,258	-0,269	0,563
-0,79077	-0,79127	-0,80644	-0,79250	-0,79330	-0,80218	-0,218	-0,256	0,531
-0,90284	-0,90443	-0,92237	-0,90545	-0,90634	-0,91724	-0,288	-0,211	0,559
-1,01577	-1,01670	-1,03812	-1,01833	-1,01933	-1,03244	-0,251	-0,258	0,550
-1,12865	-1,12878	-1,15380	-1,13115	-1,13226	-1,14778	-0,221	-0,307	0,524
-1,15085	-1,15194	-1,17674	-1,15371	-1,15484	-1,17087	-0,248	-0,251	0,501

TABELA 1: RESULTADOS DA AVALIAÇÃO

Fonte: Autor

## 4 | CONCLUSÃO

O sistema de medição SMC9MN ainda segue em processo de desenvolvimento e melhoria, porém apresentou resultados promissores dentro do esperado para caracterização de padrão para a faixa de calibração proposta.

O LMM segue com a adequação da infraestrutura laboratorial para posterior pedido de acreditação junto a Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (Cgcre).

Esse projeto faz parte de uma iniciativa do LMM-IPT para fornecer rastreabilidade a grandezas que ainda não possuem cobertura no país.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 376:2012**: Materiais metálicos: Calibração de instrumentos de medição de força utilizados para a verificação de máquinas de ensaio uniaxiais. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 7500-1:2015**: Materiais metálicos: Calibração de máquinas de ensaio estático uniaxial: Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/compressão: Calibração do sistema de medição da força. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8197:2012**: Materiais metálicos: Calibração de instrumentos de medição de força de uso geral. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 17025:2017**: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro, 2017.

F. F. a. B. G. Bray A., “**The stability of two large capacity load cells used as reference force standards**”, OIML Bulletin, vol. XXXVI, p. 22 – 25, Julho 1995.

Wansheng L., et al., “**A 60 MN build-up force transfer system**”, IMEKO 23rd TC3, 13th TC5 and 4th TC22 International Conference, Helsinki, Finland, 2017.

W. L. A. C. M. G. Marisa Ferraz Figueira Pereira, “**DEVELOPMENT OF THE CAPABILITY TO CALIBRATE LOAD CELLS IN TENSION AT THE LEVEL OF 2 MN USING THE PYRAMIDAL METHOD**”, XVIII IMEKO WORLD CONGRESS, Rio de Janeiro, Brazil 09 2006.

Z. J. Jabbour and S. L. Yaniv, “**The Kilogram and Measurements of Mass and Force**”, J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol., v. 106, p. 25–46, 2001.

# CAPÍTULO 12

## ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE JUNTAS SOLDADAS APLICANDO A TÉCNICA DE CORRELAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 04/09/2020

### **Ycaro Jorge Maia da Costa**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Mossoró – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/7005755859433625>

### **José Máspoli Ferreira Pereira**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Mossoró – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/5568371891130645>

### **Rodrigo Nogueira de Codes**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Mossoró – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/1099550358065745>

**RESUMO:** O gradiente térmico de resfriamento em juntas soldadas promove a modificação da sua microestrutura, subdividindo-a em três regiões mecanicamente distintas: Metal de Solda (MS), Zona Afetada pelo Calor (ZAC) e Metal de Base (MB). A intensidade dos parâmetros de soldagem bem como do aporte térmico aplicado na soldagem influencia a taxa de resfriamento da junta na ZAC, região característica por apresentar aumento em ductilidade associado devido ao fenômeno de recristalização e crescimento de grãos. O presente trabalho utilizou a técnica de Correlação Digital de Imagens que através do registro progressivo de imagens durante ensaio de tração, compara diferentes estágios de deformação da superfície tratada do corpo de prova, identificando campos de deslocamento

e deformação e propriedades mecânicas de cada zona mencionada. Dentre os resultados, as ZAC's das juntas soldadas com Energia da Soldagem (ES) de 10,5 kJ/cm apresentaram aumento de ductilidade cerca de 61% superior ao do seu MB, enquanto que com ES de 9,9 kJ/cm esse aumento foi de 46,3%.

**PALAVRAS - CHAVE:** Correlação Digital de Imagens; Aço inoxidável AISI 304; Soldagem MIG; Comportamento mecânico; Análise de deformação.

### MECHANICAL BEHAVIOR ANALYSIS OF WELDED JOINTS APPLYING THE DIGITAL IMAGE CORRELATION TECHNIQUE

**ABSTRACT:** The thermal gradient of welded joints promotes the modification of its microstructure, subdividing it into three mechanically distinct regions: Weld Metal (MS), Heat Affected Zone (ZAC) and Base Metal (MB). The intensity of the welding parameters as well as the thermal input applied in welding influences the joint cooling rate in the ZAC, a characteristic region due to the increase in associated ductility due to the phenomenon of recrystallization and grain growth. The present work used the Digital Image Correlation technique, which, through the progressive recording of images during a tensile test, compares different stages of deformation of the treated surface of the specimen, identifying displacement and deformation fields, mechanical properties and evolution of the deformation of each area mentioned. Among the results, ZAC welded joints with Welding Energy (ES) of 10.5 kJ/cm showed a ductility increase about 61%

higher than its MB, while with ES of 9.9 kJ/cm this increase was 46.3%.

**KEYWORDS:** Digital Image Correlation; Stainless steel AISI 304; GMAW welding; Mechanical behavior; Strain analysis.

## 1 | INTRODUÇÃO

O avanço na engenharia promoveu a necessidade do projeto de estruturas dimensionadas de forma otimizada. Esse contexto fez com que houvesse a busca por alternativas de monitoramento do comportamento mecânico de materiais.

Tradicionalmente o ensaio de tração destaca-se por fornecer a maior quantidade de informações sobre o comportamento mecânico dos metais em comparação com outros ensaios mecânicos. Entretanto, este avalia o comportamento mecânico do material de forma global. O projeto de estruturas metálicas pode envolver vários processos de fabricação, dentre eles: soldagem, usinagem, tratamentos térmicos, químicos, termoquímicos e endurecimento por deformação decorrentes da construção e montagem.

Estes processos podem induzir a modificação deste comportamento mecânico global num material. Assim a previsão do desempenho da estrutura através do ensaio mencionado e/ou de outros ensaios mecânicos se torna mais difícil, pois certas regiões da estrutura podem concentrar tensões, ter propriedades mecânicas do material modificadas de forma pontual em decorrência de transformações microestruturais, e em virtude disso, apresentarem campos de deformação não homogêneos.

A análise do comportamento mecânico em muitos casos desse tipo não é possível, devido a restrições geométricas ou se torna caro utilizar vários extensômetros (strain gauges).

Estas dificuldades existem quando se estuda o comportamento mecânico de juntas soldadas. Segundo Galvis e Hormoza (2011) e Kumar e Shahi (2011) devido ao fato de a dissipação de calor neste processo acontecer principalmente por condução a partir da região onde ocorreu a fusão do metal consumível para o restante do material da junta soldada, são gerados gradientes térmicos na união. Durante o resfriamento esses gradientes provocam um tratamento termomecânico violento que inclusive causa deformações induzidas no material, segundo Chen et al. (2011) e consequentemente acarretam gradientes microestruturais e mecânicos.

Existem três regiões microestrutural e mecanicamente distintas numa junta soldada: metal de base (MB), que é a região que o calor não é suficiente para gerar modificações em relação às condições originais; metal de solda (MS), que é a mistura solidificada de metal de adição e metal de base fundidos durante a soldagem e a zona afetada pelo calor (ZAC) que se divide em duas porções, ambas

sofrem recristalização, uma pequena região de grãos refinados e outra maior com uma microestrutura de grãos grosseiros e alongados, o que faz com que haja um incremento em ductilidade e redução em resistência (Tolephih et al, 2011, Zhu et al, 2015).

Como relatado por Saranath et al. (2014), a presença de três regiões mecanicamente distintas numa junta soldada faz com que o comportamento mecânico de deformação seja anisotrópico. Deste modo, faz-se necessária a aplicação de uma técnica que seja capaz de detectar e mostrar este gradiente de deformação durante o ensaio de tração, evitando assim a ocorrência de falhas em estruturas soldadas.

O conhecimento do comportamento de deformação de juntas soldadas pode evitar o superdimensionamento de estruturas, com a redução de coeficientes de segurança, pois se fornece mais confiabilidade ao projeto. Adicionalmente, há a redução do volume de material utilizado e os custos de fabricação.

A técnica de Correlação Digital de Imagens (CDI) destaca-se pela investigação de campos de deslocamento e de deformação. A técnica se baseia em imagens para identificar deslocamentos e através destes calcular deformações, por meio de uma comparação entre estados não-deformados e deformados. O presente trabalho se deteve em mostrar a capacidade da técnica de Correlação Digital de Imagens em determinar o comportamento de campos de deformações mecanicamente isotrópicos e anisotrópicos de corpos de prova soldado e não soldado, através do ensaio de tração.

A técnica de CDI, foi desenvolvida inicialmente, por pesquisadores da Universidade da Carolina do Sul, nos Estados Unidos, durante os anos 80. Ela foi inicialmente proposta à comunidade científica como método para análise gráfica da deformação de materiais, nos trabalhos de: Peters e Ranson (1982) e Sutton et. al. (1986), atualmente ela é utilizada amplamente em pesquisas que estudam o comportamento mecânico de deformações dos mais variados materiais, sob diversas condições, com análise em duas e três dimensões.

O procedimento experimental da técnica CDI consiste de três etapas básicas: limpeza da amostra para a aplicação de uma textura em escala de cinza adquirida através de uma pintura da superfície da amostra, registro das imagens com uma frequência de aquisição pré-determinada durante a deformação da amostra e processamento das imagens em um programa CDI para adquirir os dados dos campos de deslocamento e deformação.

A textura em escala de cinza na superfície da amostra é conseguida através da aplicação de uma nuvem de tinta spray branca sobre uma superfície homogênea preta (Nakata e Tanigawa, 2012). A nuvem de tinta branca faz com que haja uma distribuição aleatória das gotículas brancas sobre a superfície preta formando a

textura em escala de cinza como mostrado na figura 1-A.

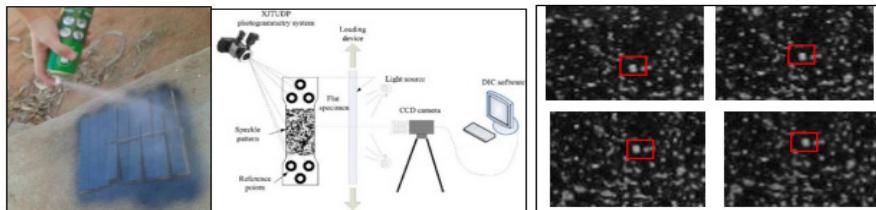


Figura 1-A  
– Aplicação  
da textura  
em escala de  
cinza

Figura 1-B – Aparato  
experimental para  
ensaio de tração  
aplicando a técnica CDI  
(Tang et al, 2012)

Figura 1-C – Deslocamento  
de um ponto de controle e  
sua área de interesse (5s  
entre imagens).

Um esquema típico de da aplicação da técnica Correlação Digital de Imagens é mostrado na figura 1-B (Tang et al, 2012). Durante o Processamento Digital de Imagem (PDI), o programa CDI converte as informações visuais contidas na textura em informações descritivas na forma de um modelo matemático. A textura em escala de cinza de cada imagem funciona como uma função  $f(x,y)$ , onde o domínio da função é dado pelas coordenadas  $(x,y)$  da imagem digital em pixels e a imagem  $f$  representa a luminosidade de cada posição. O conjunto de valores em escala monocromática constitui uma matriz de luminosidade da imagem.

Os deslocamentos são calculados através da comparação entre as matrizes luminosidade de uma imagem de referência e imagens. Cada valor da matriz luminosidade da imagem de referência representa um elemento de área (em vermelho na figura 1-C que é reconhecido pelo programa CDI através de um ponto de controle, fazendo com que o elemento de área seja identificado mesmo após ocorrer o deslocamento em uma imagem deformada (Staborska et al, 2012)

A figura 1-C mostra a sequência de deslocamento de um ponto de controle, e a movimentação de sua área de interesse conforme ocorre a deformação do material. Para o programa a função que corresponde ao elemento da matriz de luminosidade da imagem de referência,  $I_o(x,y)$  , que será correlacionada com a da imagem deformada,  $I_n(x',y')$  , satisfaz a relação:  $I_o(x,y)=(x+un,y+vn)$ . Onde  $un$  e  $vn$  representam os deslocamentos na abscissa e ordenada respectivamente. Os deslocamentos e são determinados pelo coeficiente de correlação cruzada:

$$C = \frac{\sum_{un,vn}(x,y). I_n(x + un, y + vn)}{\sqrt{\sum_{un,vn} I_o(x,y)^2. \sum_{un,vn} I_n(x + un, y + vn)^2}}$$

O coeficiente de correlação cruzada é adotado quando seu valor em função

dos deslocamentos é máximo, assim é função dos valores de deslocamentos e de seus gradientes.

Hild e Roux (2006) desenvolveram um programa (Correli Q4®) com algoritmos de Correlação Digital de Imagens implementados na plataforma MATLAB®. Seus trabalhos constataram seu potencial para mensurar campos de deslocamento e deformação, bem como determinar propriedades mecânicas dos materiais. Além disso, o programa mostrou a capacidade de determinar deslocamentos em escala de sub-pixels, isto comprova a confiabilidade dos resultados de ensaios obtidos através do uso do Correli Q4.

Além de apresentar os campos de deslocamento e deformação em interface gráfica, o Correli Q4 tem como grande vantagem em relação a outros programas CDI, o recurso de análise de textura antes de iniciar o ensaio. A técnica CDI foi utilizada para mensurar tensões residuais e evolução de deformação durante o procedimento de soldagem TIG/GTAW como mostrado no estudo de Strycker et al. (2011). Os autores conseguiram provar a eficácia deste experimento, comparando os resultados da evolução do campo de deformação através da técnica CDI com os de extesômetros elétricos.

Hu et al. (2013) utilizaram a técnica de Correlação Digital de Imagens em três dimensões para identificar o comportamento de deformação induzida na soldagem de chapas de aço inoxidável, durante a soldagem, ao fim do processo e durante o resfriamento. Os autores relataram que a técnica conseguiu através de sua interface representar de forma ilustrativa os campos de deformação decorrentes dos gradientes térmicos do processo de soldagem.

Jin et al. (2014) utilizaram a técnica de CDI para análise de deformações devido às tensões térmicas referentes a um conjunto metálico composto por uma placa circular de alumínio e um anel de titânio que com o aquecimento entravam em interferência gerando o campo de deformações.

Codes et al. (2011) utilizaram o Correli Q4 para identificar a propagação de bandas oriundas do efeito Potervin-Le Chatelier, em amostras de AA 5182, durante o ensaio de tração.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Foram fabricados corpos de prova em duas condições de Energia de Soldagem (ES), 9,9 kJ/cm e 10,5 kJ/cm, de acordo com a norma ISO 6892, para ensaio de tração à temperatura ambiente. As dimensões foram de 25,4mm da largura, 5mm de espessura e 200 mm de comprimento. O material foi usinado a partir de barras chatas de aço inoxidável AISI 304, que segundo a certificação do fabricante possui composição química conforme a tabela 1.

Elemento	C	Si	Mn	P	Cr	Mo	Ni	V	Al	Cu	Ti
%p.	0,04	0,4	1,28	0,3	18,2	0,32	7,63	0,08	0,003	0,55	0,004

Tabela 1 - Composição química do aço inoxidável AISI 304

Para confecção das juntas soldadas os corpos de prova foram cortados longitudinalmente no centro de seu comprimento através de um chanfro em "I" para posterior união em ambos os lados por soldagem MIG/GMAW. A soldagem foi realizada por um robô de deslocamento de tocha (Tartílope V1 figura 2-A). A máquina de solda utilizada foi de modelo ESAB LAI 407 com alimentador de arame acoplado (figura 2-B). A aquisição dos parâmetros de soldagem foi feita por um sistema Aq. Dados 7.02.

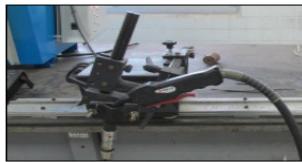


Figura 2-A – Tartílope V1



Figura 2-B –  
ESAB LAI 407



Figura 2-C – Aparato  
de Ensaio

O arame consumível utilizado possui especificação AWS ER308LSi. Usou-se o argônio puro como gás de proteção. A soldagem procedeu-se com abertura e fechamento de arco em chapas adjacentes de mesma espessura e material do corpo de prova, como mostrado na figura 3-A, impedindo os fenômenos de variação de parâmetros durante esses processos, fazendo com que os cordões de solda tenham a melhor continuidade possível.



Figura 3-A – Chapas  
adjacentes ao corpo de  
prova



Figura 3-B – Corpo de prova de aço  
inoxidável AISI 304 soldado.

O metal adjacente foi posteriormente retirado por serragem. Condição final do corpo de prova é ilustrada na figura 3-B. Foi aplicada a textura em escala de cinza nos corpos de prova (figura 1-A). A aquisição das imagens foi realizada

remotamente por uma câmera Cannon EOS 60 D através de um computador, com uma frequência de aquisição de uma imagem a cada 5 segundos.

Os ensaios foram realizados até a ruptura numa máquina universal de ensaios EMIC DL 10000 com capacidade máxima de 100 kN. Os comprimentos uteis de todos os corpos de prova foram de 115 mm. Todos os ensaios foram realizados utilizando uma velocidade de deformação de  $7,5 \cdot 10^{-4}$  s<sup>-1</sup>. O aparato experimental utilizado no ensaio é mostrado na figura 2-C. Após os ensaios as imagens foram processadas e analisadas pelo software CDI Correli Q4.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

As rupturas das juntas ocorreram para ambas energias de soldagem na zona afetada pelo calor (ZAC), confirmando a teoria abordada por Lippold e Kotecki (2005), que a região se comporta como um concentrador de tensão devido ao crescimento de seus grãos decorrente dos gradientes de aquecimento e resfriamento, resultado na consequente redução em sua resistência mecânica, deste modo a ruptura nesta zona é comum.

A Figura 4 apresenta os campos de deformação vertical após o processamento das imagens do ensaio de tração e análise utilizando Correli Q4, a intensidade da deformação é representada pela escala de cores da menor (vermelho) para a maior (roxo), cada campo de deformação possui seus níveis de deformação parametrizados a escala de cores.

Observa-se que enquanto o corpo de prova da figura 4-3 apresenta um comportamento de deformação homogêneo, os CP's das figuras 4-1 e 4-2 indicam a presença de gradientes de deformação nas zonas características de uma junta soldada, MB, ZAC e MS.

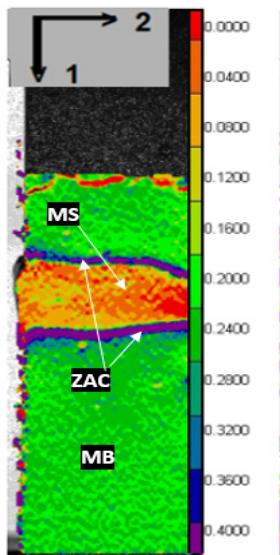


Figura 4-A – Campo de deformação vertical (1) – Corpo de prova 10,5 kJ/cm (679 s)

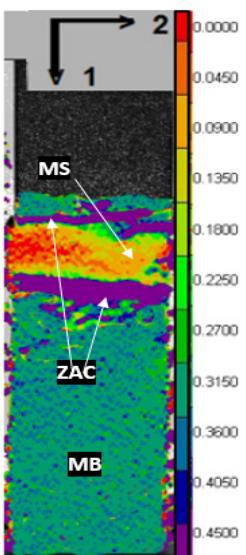


Figura 4B – Campo de deformação vertical (1) – Corpo de prova 9,9 kJ/cm (877 s)

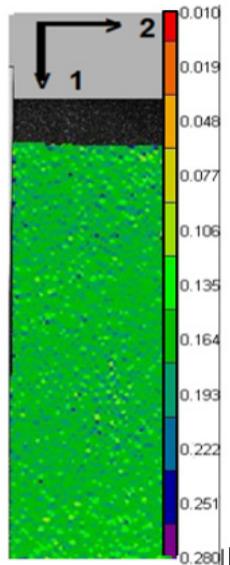


Figura 4B – Campo de deformação vertical (1) – Corpo de prova sem solda (1095 s)

Notavelmente a Zona Afetada pelo Calor apresentou intensidade de deformação superior às outras regiões como de fato era de se esperar, pois essa região sofre aumento considerável de ductilidade devido ao aporte térmico gerado pela soldagem e posterior resfriamento lento, funcionando como um tratamento térmico violento e localizado.

No corpo de prova da figura 4-1 (10,5 kJ/cm), o metal de solda foi preenchido em variações da cor laranja, o que de acordo com a escala de cores representa uma deformação de aproximadamente 0,08 mm/mm, o alongamento máximo da curva MS é de 0,0831. A região preenchida em variações de verde, onde está o metal de base, apresenta uma deformação entre 0,2 e 0,24, de acordo com a curva MB o alongamento máximo é de 24,4%. A deformação mais considerável foi apresentada adjacente ao cordão de solda, na ZAC, de acordo com a escala de cores, o valor foi de aproximadamente 0,4 mm/mm.

No corpo de prova da figura 4-2 (9,9 kJ/cm), o valor da deformação na ZAC é de aproximadamente 0,45 mm/mm, o MB é representado na cor verde, este apresenta uma deformação percentual ao fim do ensaio de 31,5%, segundo a escala de cores. No MS calculou-se um alongamento máximo de 10%, ou 0,1 mm/mm.

Utilizando o comando *virtual gauge* no Correli Q4, é possível calcular uma média das deformações localizadas posicionando um elemento de área na região

de interesse, para verificar o comportamento e extrair os dados de deformação do ensaio adotou-se três regiões de interesse de formato retangular posicionados de maneira centralizada, um em cada região da solda, um no MS e outro no MB, ambos de 3x3 mm e um na ZAC de 5X1 mm.

Através dos dados de deformação obtidos pela Correlação Digital de Imagens e dos dados de força registrados pela célula de carga do equipamento de ensaios e das secções transversais de cada região, tornou-se possível plotar as curvas tensão-deformação das zonas estudadas e consequentemente suas propriedades mecânicas, conforme a figura 5.

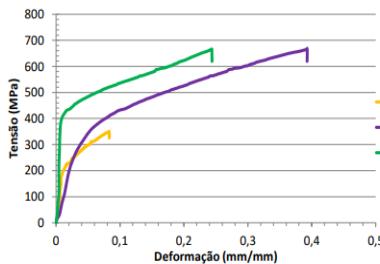


Figura 5-1 - Curvas tensão-deformação das regiões da junta soldada com ES de 10,5 kJ/cm

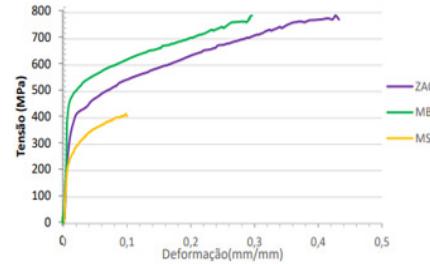


Figura 5-2 - Curvas tensão-deformação das regiões da junta soldada com ES de 9,9 kJ/cm

Observa-se de acordo com a curvas da figura 5 que o corpo de prova soldado com a Energia de Soldagem de 9,9 kJ/cm de tensão em relação a Energia de Soldagem de 10,5 kJ/cm, o que muito provavelmente se deve a um menor aporte térmico aplicado e consequentemente redução de resistência mecânica em menor intensidade, como a condição de 10,5 kJ/cm.

As tabelas a seguir apresentam as propriedades obtidas através das curvas tensão-deformação e dos dados de deformação transversal (direção 2).

Vale lembrar que o material de base muito provavelmente possui resistência mecânica maior do que o último ponto da curva, mas que devido a ruptura ter acontecido na ZAC, não se registrou tensões maiores.

Notou-se também em ambos casos que a ZAC se deformou em maiores proporções que o MB devido ao aumento de ductilidade anteriormente comentado, 61% a mais em relação ao MB para 10,5 kJ/cm e 46,3% a mais para 9,9 kJ/cm, cabe destacar que esse aumento em menores proporções para a Energia de Soldagem (ES) menor deve-se ao menor aporte térmico que possibilitou o resfriamento a uma taxa mais acelerada.

Propriedade Zonas da junta	Tensão de Escoamento		Alongamento	
	10,5 kJ/cm	9,9 kJ/cm	10,5 kJ/cm	9,9 kJ/cm
MB	420 MPa	490 MPa	24,4%	29,6%
ZAC	280 MPa	360 MPa	39,3%	43,3%
MS	200 MPa	490 MPa	2,3%	7,2%

Tabela 2 – Tensões de escoamento e alongamento das regiões das juntas soldadas

Em relação a tensão de escoamento, a ZAC apresentou valores menores em relação ao seu MB em ambos casos, analisando relativamente a redução para 10,5 kJ/cm foi de 33,3% e de 26,5% para 9,9 kJ/cm, a perda de resistência proporcionalmente ao MB foi menor no caso da ES menor se deve ao menor aporte térmico aplicado e consequente resfriamento mais rápido que a outra condição testada.

Propriedade Zonas da junta	Módulo de Resiliência		Módulo de Tenacidade	
	10,5 kJ/cm	9,9 kJ/cm	10,5 kJ/cm	9,9 kJ/cm
MB	2,3 kJ/cm	7,2 kJ/cm	132,8 kJ/cm	194,5 kJ/cm
ZAC	1,8 kJ/cm	3,3 kJ/cm	194,1 kJ/cm	270,8 kJ/cm
MS	0,5 kJ/cm	1,2 kJ/cm	21,3 kJ/cm	33,4 kJ/cm

Tabela 3 – Módulos de Resiliência e de Tenacidade das regiões das juntas soldadas

No caso do módulo de resiliência, observamos que para a ZAC, os valores da ES de 9,9 kJ/cm foram maiores que os de 10,5 kJ/cm, o que quer dizer que conforme foi acrescido o aporte térmico, uma maior quantidade de energia de deformação foi necessária para tensioná-lo na fase elástica, o que pode ser justificado pelo comportamento de aumento de ductilidade e de tensão de escoamento relatado na obtenção das propriedades anteriores.

O fato de o módulo de tenacidade da ZAC com 9,9 kJ/cm ter sido 39,5% maior do que de os 10,5 kJ/cm, ocorreu devido esta propriedade ser obtida de uma relação dos comportamentos da tensão e deformação, portanto, por ter usado energia de soldagem menor, o corpo de prova de 9,9 kJ/cm apresenta maior rigidez a deformação, necessitando, assim aplicar mais energia de deformação que os corpos de prova de 10,5 kJ/cm, para obter a mesma magnitude. Ou seja, o corpo de prova de 9,9 kJ/cm necessita de uma maior área abaixo da curva que o de 10,5 kJ/cm, para obter o mesmo valor de deformação.

Outro resultado observado, foi que ao comparar a variação dessa propriedade na ZAC em relação ao respectivo metal de base, calculou-se que em 10,5 kJ/cm a

tenacidade aumentou 46% em relação ao metal de base, enquanto que com 9,9 kJ/cm apenas 39%, ou seja, no caso da condição de menor aporte térmico na soldagem, essa propriedade variou menos, analisando relativamente, portanto a junta de 9,9 kJ/cm é mecanicamente mais homogênea que a de 10,5 kJ/cm.

Propriedade Zonas da junta	Módulo de Elasticidade		Coeficiente de Poisson	
	10,5 kJ/cm	9,9 kJ/cm	10,5 kJ/cm	9,9 kJ/cm
MB	115 GPa	130 GPa	0,36	0,36
ZAC	11 GPa	22 GPa	0,16	0,23
MS	30 GPa	31 GPa	-	-

Tabela 4 – Módulos de Elasticidade e Coeficientes de Poisson

Analizando comparativamente os dados apresentados acima, observou-se que para os corpos de prova de 10,5 kJ/cm houve uma redução de 90% do módulo de elasticidade da ZAC em relação ao MB, no caso de 9,9 kJ/cm essa redução foi de 83%, isso mostra que conforme o aumento verificado na energia de soldagem, mais o metal do corpo de prova sofreu uma maior redução na rigidez da ZAC em relação ao seu metal de base, confirmando o apresentado anteriormente.

Outro resultado de relevância que foi observado foi o devido à grande redução na propriedade do módulo de elasticidade para ambas condições em estudo, a ZAC tende a atingir o limite elástico bem antes das outras regiões da junta, pois deforma em maior intensidade em resposta a aplicação da tensão na junta por completo, devido a sua baixa rigidez relativa. Isto confirma que a ZAC dos aços inoxidáveis é um concentrador de tensão na junta, sendo o local onde o corpo de prova tende a romper nos ensaios de tração.

Observou-se com base nos dados da tabela 4 que em ambos os casos o Coeficiente de Poisson apresentou redução em relação ao metal de base, no caso de 10,5 kJ/cm em torno de 55%, enquanto para 9,9 kJ/cm essa redução foi em torno de 36%. Isso quer dizer que conforme foi maior o aporte térmico, a ZAC de 10,5 kJ/cm sofreu maior alongamento relativo na direção longitudinal, comparando com a condição de menor intensidade de calor, para deformações transversais iguais. Assim a seção na condição de 10,5 kJ/cm a seção foi mais alongada que de 9,9 kJ/cm se compararmos instantes do ensaio onde a deformação transversal seja igual.

Vale lembrar que não foram apresentados na tabela acima os valores para o metal de solda, pois nas condições de ensaio esta região apresentava reforço de seção transversal maior que o restante do corpo de prova, desse modo a proporção de deformação nesta região foi influenciada.

## 4 | CONCLUSÕES

A constatação dos resultados obtidos pela técnica de Correlação Digital de Imagens mostrou-se como diferencial para caracterização da influência da variação da energia de soldagem. Inicialmente pela identificação e análise do campo de deformação, pela valoração e comparação entre suas propriedades mecânicas da junta em todas suas regiões (Metal de Base, Zona Afetada pelo Calor e Metal de Solda).

As modificações microestruturais resultantes dos gradientes de resfriamento ocorridos na ZAC são responsáveis pela alteração no comportamento de deformação da junta que foi eficazmente evidenciado pelo gradiente mecânico observado nos campos de deformação apresentados.

Como foi observado, a energia de soldagem foi crucial na variabilidade das propriedades mecânicas, inclusive para a resistência ao escoamento, entre as amostras de 10,5 kJ/cm e 9,9 kJ/cm, principalmente na zona mais sensível da junta, onde foram obtidos limites de escoamento 280 e 360 MPa, de forma respectiva para cada energia, o que demonstra que juntas fabricadas com energia de soldagem mais intensa sofrem redução considerável de resistência mecânica.

Notou-se também uma tendência de deformação da ZAC em maiores proporções comparando com seu MB, pois o aumento de ductilidade foi de 61% a para 10,5 kJ/cm e 46,3% para 9,9 kJ/cm em relação ao respectivo MB, cabe destacar que esse aumento em menores proporções para a Energia de Soldagem (ES) menor deve-se ao menor aporte térmico que possibilitou o resfriamento a uma taxa mais acelerada.

Os resultados também mostraram que a condição de soldagem com menor aporte térmico possibilita uma menor perda de rigidez do metal em decorrência do processo de fabricação, o que remete a necessidade de maior esforço mecânico para gerar deformações tanto na fase elástica como na plástica.

Finalmente, observou-se que o aporte térmico influencia ainda na proporção de deformação transversal-longitudinal, em que, a ZAC de 10,5 kJ/cm sofreu maior alongamento relativo na direção longitudinal que na condição de 9,9 kJ/cm.

## REFERÊNCIAS

CHEN, B.Q., GARBATOV, Y. e GUEDES SOARES, C, **Measurement of weld induced deformations in 3D structures based on photogrammetry technique**, Journal of Ship Production and Design, Vol. 27, 2, pp. 51-62. 2011.

CODES, R.N. et al. **Spatial and Temporal Characteristics of Propagating Deformation Bands in AA5182 Alloy at Room Temperature**. METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS, Cachan, v41, n6, p44-58, 2011

GALVIS E, A. R.; HORMAZA, W. **Characterization of failure modes for different welding processes of AISI/SAE 304 stainless steels.** ENGINEERING FAILURE ANALYSIS, v.18, n. 7, p.1791-1799,2011.

HILD, F. ROUX, S. **Digital Image Correlation: from Displacement Measurement to Identification of Elastic Properties - a Review.** STRAIN, 42:69-80. Cachan, 2006.

HU, Hao et al. **Image correlation method for full-field deformation measurements during metal sheet welding processes.** OPTIK, Shaanxi, p.5193-5198, 2013.

JIN, T.I.; HA, N.s.; GOO, N.s.. **A study of the thermal buckling behavior of a circular aluminum plate using the digital image correlation technique and finite element analysis.** THIN-WALLED STRUCTURES, v. 77, p.187-197, 2014.

KUMAR, S.; SHAHI, A.s.. **Effect of heat input on the microstructure and mechanical properties of gas tungsten arc welded AISI 304 stainless steel joints.** MATERIALS & DESIGN, v. 32, n. 6, p.3617-3623, 2011.

LIPPOLD, J. C.; KOTECKI, D. J. **Welding metallurgy and weldability of stainless steels.** Hoboken: Wiley-interscience, 2005.

NAKATA, Toshiya; TANIGAWA, Hiroyasu. **Evaluation of local deformation behavior accompanying fatigue damage in F82H welded joint specimens by using digital image correlation.** FUSION ENGINEERING AND DESIGN, Rokkasho, v. 87, n. 6, p.589- 593,2012.

PETERS, W.H., RANSON, W.F. **Digital imaging techniques in experimental stress analysis.** OPTICAL ENGINEERING, 432-437, 1982.

SARANATH, K.M.; SHARMA, Abhay, RAMJI, M. **Zone wise local characterization of welds using digital image correlation technique.** OPTICS AND LASERS IN ENGINEERING, Hyderabad, v63 n4, p30-42. 2014.

STAMBORSKÁ, M. et al. **Identification of Stress Fields from the Strain Fields in Isotropic Materials.** PROCEDIA ENGINEERING, v48, p665-672, 2012.

STRYCKER, M. et al. **Measuring Welding Deformations with Digital Image Correlation Technique.** WELDING JOURNAL, Ghent, v90,n7, p.107-112, 2011.

SUTTON, M.A., CHENG, M., PETERS, W.H., CHAO, Y.J., MCNEILL, S.R. **Application of an optimized digital image correlation method to planar deformation analysis.** IMAGE VISION COMPUTING, 143–150, 1986.

TANG Z-Z., et al, **Optical engineering.** 51, 2012.

TOLEPHIH, M. H et. Al., Z.. **Comparative Study of the Mechanical Properties of (FS) and MIG Welded Joint in (AA7020-T6) Aluminum Alloy.** AL-KHWARIZMI ENGINEERING JOURNAL, Baghdad, v. 7, n. 2, p.22-35,2011.

ZHU, Z.y. et al. **Effect of post weld heat treatment on the microstructure and corrosion behavior of AA2219 aluminum alloy joints welded by variable polarity TIG welding.** MATERIALS & DESIGN, v65, p1075-1082, 2015.

# CAPÍTULO 13

## CARACTERIZAÇÃO METALOGRÁFICA DE AÇOS MULTIFÁSICOS

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 05/09/2020

**Rafael Morel Martins**

Universidade Federal de Santa Catarina  
Florianópolis – Santa Catarina  
<http://lattes.cnpq.br/1213729543071825>

**Bárbara Silva Sales Guimarães**

Universidade Federal de São Carlos  
São Carlos – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/1385572129488434>

**RESUMO:** Os aços avançados de alta resistência (AHSS), são baseados em microestrutura multifásica que proporcionam aos materiais a combinação de uma elevada resistência mecânica com alta ductilidade, onde os constituintes microestruturais proporcionam qualidades essenciais para as novas aplicações na indústria automotiva. A caracterização microestrutural de um aço multifásico consiste na utilização de técnicas de contraste, obtidas a partir de ataques químicos, que possibilitam a classificação dos diferentes constituintes presentes no material. Entretanto, uma infinidade de reagentes e combinações podem ser utilizados, onde cada reagente poderá criar ou não contrastes preferenciais em um determinado componente da microestrutura do material. O presente artigo apresenta uma revisão sobre os tipos de ataques químicos para a caracterização dos aços multifásicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** AHSS, caracterização,

ataques químicos, microestrutura.

### METALLOGRAPHIC CHARACTERIZATION OF MULTIPHASE STEELS

**ABSTRACT:** Advanced high strength steels (AHSS) are based on multiphase microstructure that provide materials with a combination of high mechanical strength with high ductility, where microstructural constituents provide essential qualities for new applications in the automotive industry. The microstructural characterization of a multiphase steel consists of the use of contrast techniques, obtained from chemical etching technical, which enable the classification of the different constituents present in the material. However, a multitude of reagents and combinations can be used, where each reagent may or may not create preferred contrasts in a given component of the material's microstructure. This article presents a review of the types of chemical etching technical for the characterization of multiphase steels.

**KEYWORDS:** AHSS, characterization, etching technique, microstructure.

### 1 | INTRODUÇÃO

Por quase um século, os aços de baixo carbono se apresentavam como a principal matéria prima utilizada pela indústria automotiva uma vez que os critérios da época consistiam na máxima conformabilidade e elevada reparabilidade (FONSTEIN, 2015).

Em função de crise do petróleo, em 1975, a indústria automotiva buscou por soluções que

permitissem a redução das altas espessuras dos materiais utilizados nas carrocerias dos automóveis, em troca de maiores níveis de resistência dos materiais. Neste contexto, o aço HSLA (aço de alta resistência e baixa liga) constituiu o primeiro aço de alta resistência moldável a frio para aplicação automotiva, cuja microestrutura mais refinada e a capacidade de endurecimento por precipitação proporcionaram um material com maior resistência mecânica, apresentando um elevado potencial na redução de peso para aplicações automotivas. As propriedades mecânicas dos aços HSLA apresentavam limite de escoamento acima de 280/300 MPa e uma resistência à tração de cerca de 450 MPa (FONSTEIN, 2015).

No início da década de 90, a indústria siderúrgica observou uma necessidade em desenvolver e debater assuntos voltados a produção e testes de desenvolvimento de novos aços. Um dos principais contribuintes para este processo foi à concepção da nova família de aços chamada de Aços Avançados de Alta Resistência (AHSS - *Advanced High Strength Steels*), cuja propriedades derivam de seu arranjo microestrutural multifásico complexo e, portanto, possibilitando a combinação de elevada resistência mecânica com elevada ductilidade que implica em um limite de escoamento acima de 280/300 MPa e uma resistência à tração acima de 590/600 MPa (KEELER; KIMCHI, 2017; FONSTEIN, 2015).

O início da aplicação do AHSS moderno na indústria automotiva ocorreu a partir de 1995, com a comercialização de aços DP (*Dual-Phase*) como produtos laminado a frio. Com requisitos automotivos cada vez mais restritos a fim de atender solicitações específicas de segurança, acarretaram o desenvolvimento de novas microestruturas especiais de aços AHSS permitindo a obtenção dos aços TRIP (*Transformation Induced Plasticity*), CP (*Complex Phase*), e aços martensíticos (MS).

Os desenvolvimentos dos aços multifásicos permitiram aos engenheiros projetistas uma variedade de graus de aço a serem incorporados em projetos dos carros modernos, isto é, a possibilidade em se utilizar materiais com características diferentes em aplicações específicas baseados na relação entre resistência e ductilidade.

Assim, os projetos passaram a considerar a utilização de materiais com níveis de resistência mais elevados em peças estruturais, por exemplo, AHSS, e por outro lado, a utilização de aços convencionais com propriedades adaptadas para peças expostas, de acordo com sua posição, conforme apresentado na Figura 1.

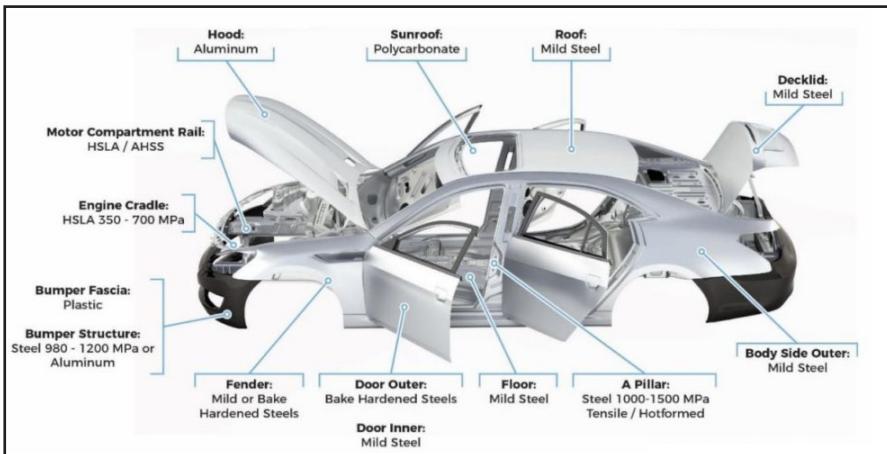


Figura 1 – As peças estruturais e expostas são apresentadas de forma a observar as posições dos diferentes classes de materiais utilizados pela indústria automotiva onde temos: aços doces (Mild Steel), aços Bake Hardness (BH), aços de alta resistência (HSS), aços avançados de alta resistência (AHSS) e Alumínio (Al)

Fonte: Smith et al. (2017)

Observa-se que, em geral, as principais classes de materiais utilizados nos projetos de automóveis são: aços doces (*Mild Steel*), aços de alta resistência (HSS), e os aços AHSS. A incorporação dos aços de alta resistência (HSS e AHSS), no período de quatro gerações de modelos quase duplicou, reduzindo o espaço dos aços convencionais utilizados por sua elevada capacidade de estampagem.

## 2 | AÇOS DUAL-PHASE (DP)

Entre os aços AHSS, os aços DP são os mais utilizados pelas montadoras devido à sua excelente combinação entre resistência e ductilidade, ao mesmo tempo em que apresenta relativa facilidade de fabricação. Sua microestrutura bifásica é caracterizada por ilhas de martensita dispersas em uma matriz ferrítica, proporcionando ao aço níveis de resistência à tração superior aos aços convencionais e, ainda, apresentam uma maior taxa de encruamento inicial e melhor capacidade de deformação quando comparado aos aços HSLA. Portanto, esses aços são destinados a peças com necessidades de absorção de energia durante choque ou colisões, como compartimentos do motor e peças estruturais (LESCH; KWIATON; KLOSE, 2017; RANA; SINGH, 2016).

Os aços DP podem ser produzidos por tratamento térmico intercristalino com técnicas de recozimento contínuo ou recozimento em caixa, onde a microestrutura gerada é composta por uma matriz dúctil ferrítica (α) com ilhas de uma fase dura

martensítica (M). O comportamento mecânico é significativamente determinado pelos constituintes presentes na microestrutura em termos de tipo, morfologia, fração volumétrica e distribuição espacial dos constituintes presentes.

Caracterizados por apresentarem uma microestrutura formada por uma fase martensítica dispersa em uma matriz ferrítica, conforme apresentado na Figura 2 (a) e esquematizado na Figura 2 (b). Para a maioria dos aços DP processados industrialmente, observa-se uma microestrutura mais complexa com a presença de pequenas frações volumétricas de bainita e perlita, que são toleradas devido a não alterarem significativamente as propriedades mecânicas desde que ocorra a formação de uma quantidade suficiente de martensita de baixa temperatura. Ainda, pode haver a presença de austenita retida (2 a 9%) na microestrutura oriunda do processo de transformação incompleta da austenita em martensita, de acordo com a composição química (PUSHKAREVA, 2009).

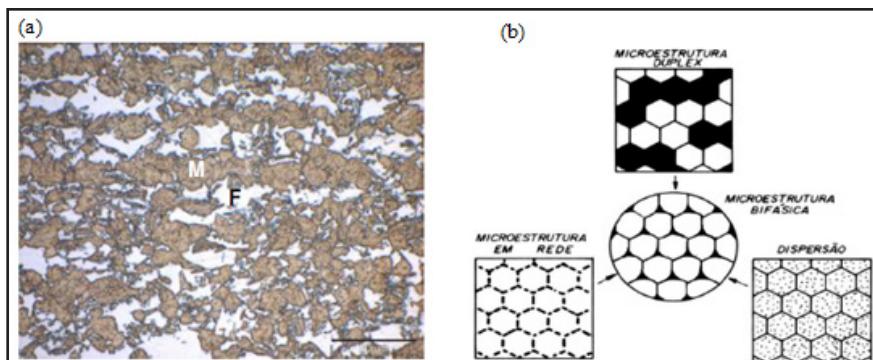


Figura 2 — (a) Microestrutura de um aço DP a partir de um microscópico óptico (MO). Em (b) observa-se a representação esquemática da topologia da microestrutura bifásica, formado a partir da fusão de três morfologias básicas presentes em microestruturas com duas fases: duplex, dispersão e em rede

Fonte: Pushkareva (2009) e Oliveira (2013)

Os constituintes presentes nas microestruturas dos aços DP estão diretamente correlacionados com o tipo de processamento do material, no qual se observa a influência de fatores como: a temperatura e o tempo do tratamento térmico intercrítico, a taxa de resfriamento aplicado e a microestrutura inicial (DIAS, 2013).

A ferrita consiste em uma fase comum aos aços com baixo teor de carbono, caracterizada por ser uma fase dúctil e tenaz. Nos aços DP, a adição de elementos de liga e o aumento da taxa de resfriamento após processo de recozimento contínuo proporcionam a fase ferrítica à função de isolar a segunda fase dura formada, garantindo a ductilidade e a conformabilidade do material.

A martensita consiste em um importante componente na microestrutura dos aços DP, no qual sua formação é resultado do processo de transformação austenítica a altas taxas de resfriamento. Consiste em uma fase metaestável com uma elevada saturação de carbono, apresentando a mesma composição química de sua fase original, e possui uma estrutura TCC (tetragonal de corpo centrado) originária da transformação da estrutura CFC (cúbica de face centrada) presente na austenita.

O teor de carbono da austenita difere os tipos de martensita formados durante o resfriamento rápido, etapa em que os cristais são arranjados em uma das principais morfologias em formato de agulhas ou placas. A Figura 3 correlaciona à fração volumétrica de martensita em formato de ripas em ligas de Fe-C, em função do teor de carbono na fase de austenita original.

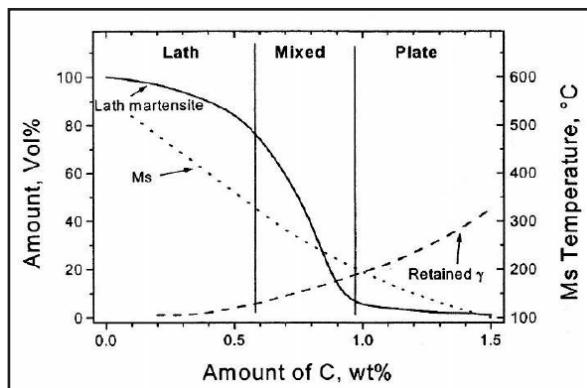


Figura 3 – Efeito do teor de C na porcentagem relativa de martensita em formatos de ripas e placas, observando-se o efeito da temperatura  $M_s$  e porcentagem de volume de austenita retida em ligas de Fe-C

Fonte: Pushkareva (2009)

A bainita consiste em um produto da decomposição eutetóide, com complexa formação e com uma gama de variedades possíveis de serem formadas, podendo apresentar características intermediárias entre a fase ferrítica e a martensítica (DIAS, 2013). A formação da bainita ocorre em uma faixa de temperatura entre 523 a 823 K (250 a 550 °C), com o limite inferior de transformação determinado pelo início da transformação martensítica, conforme observado na Figura 4.

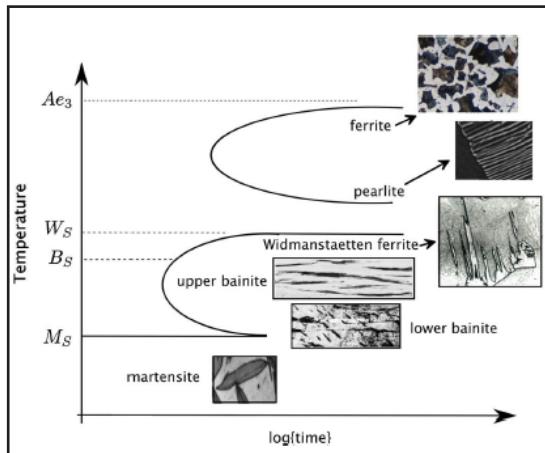


Figura 4 – Ilustração das variedades microestruturais que podem ser geradas durante a transformação isotérmica da austenita

Fonte: Bhadeshia e Honeycombe (2017)

### 3 | CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL

A metalografia consiste em um ramo da metalurgia física que examina o material sob o ponto de vista de sua estrutura e constituintes, buscando correlacionar às propriedades físicas do material ao seu comportamento quando submetido a trabalho. A análise metalográfica pode ser realizada de forma macroscópica e microscopicamente, em que, frequentemente, uma seção superficial do material é preparada, polida e atacada com variadas técnicas de investigação.

Segundo Vander Voort (2004), todas as técnicas de análise envolvem a reflexão de alguma forma de radiação sobre a superfície da seção; no qual uma imagem é formada a partir da reflexão da radiação sobre a superfície permitindo discernir variações na estrutura ou composição do cristal sobre a superfície.

A metalografia microscopică consiste em uma análise capaz de observar a natureza, a quantidade, a distribuição e forma de constituintes presente, a textura e as inclusões (COLPAERT, 2018). Em geral, a metalografia microscopică utiliza-se de ataques químicos (corrosivos ou coloridos) a fim de possibilitar a capacidade da superfície do material em refletir a luz para diferentes direções, oriundos de desvios que podem ser causados por desnível, por deposição de camada ou por orientação dos cristais.

Ataques químicos corrosivos, realizados com reagente Nital ou Picral, permitem visualizar uma microestrutura em um contraste preto e branco – dependente da composição química, da orientação cristalográfica e dos defeitos

presentes no retículo cristalino do aço analisado.

Seu mecanismo para os aços multifásicos consiste na identificação de fases ricas e pobres em carbono, como austenita e ferrita. As fases ricas em carbono atuam como ânodo no eletrólito durante o ataque químico e o teor de carbono presente na fase indica sua resistência à remoção durante o ataque químico. Já as fases pobres atuam como cátodo no eletrólito e apresentam forte influência na remoção química de acordo com a orientação do cristal, em que a remoção da superfície de um cristal com orientação [111] é removida duas vezes mais rápido que uma superfície com orientação [100] (REISINGER et al., 2017). Portanto, a ordem de corrosão para as fases durante o ataque químico dependerá de sua resistência ao processo corrosivo – conforme observado na Figura 5.

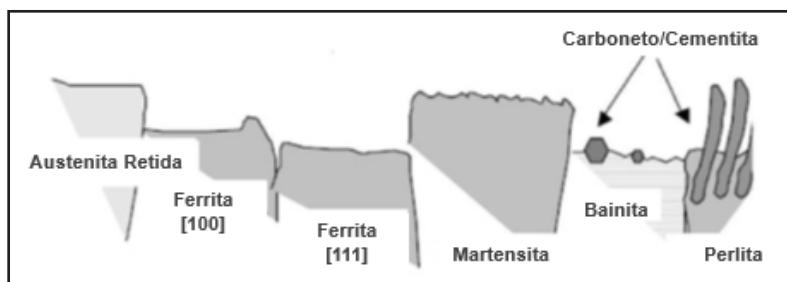


Figura 5 – Modelo de ataque corrosivo para aços multifásicos

Fonte: Adaptado de Reisinger et al. (2017)

Esse método se caracteriza por apresentar um bom contraste entre a matriz ferrítica e a martensita, identificando-se a presença de elementos de segunda fase como a bainita que assumem a mesma tonalidade da martensita (devido ao processo de corrosão). Porém, a caracterização microestrutural de aços multifásicos a partir de ataques químicos convencionais (como Nital) não proporcionam o contraste necessário para uma diferenciação positiva entre a martensita e outros constituintes. Isso ocorre devido aos equipamentos de imagens eletrônicas não proporcionarem um contraste necessário capaz de diferenciar a martensita de outros constituintes, levando-os a assumirem a mesma tonalidade que os contornos de grãos, conforme observado na Figura 6.

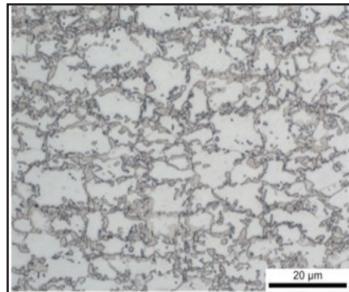


Figura 6 – Microestrutura para um aço AHSS após ataque químico com reagente Nital 4%, via microscópio ótico (MO)

Fonte: Autor

Já os ataques químicos coloridos (*tint etching*) consistem em métodos de ampla utilização para aços multifásicos devido a sua agilidade e facilidade na distinção das diferentes fases presentes na microestrutura. Seu método consiste na deposição de filme ou película fina de óxido, sulfeto, molibdato, cromato ou selênio elementar em uma superfície polida a partir da reação química entre o reagente de ataque com o substrato (FUKUGAUCHI, 2010; REISINGER et al., 2017).

As fases presentes na estrutura atuam como ânodo ou cátodo; e os diferentes reagentes corrosivos podem formar na superfície um filme ou película fina catódica ou anódica, como mostrado na Figura 7.

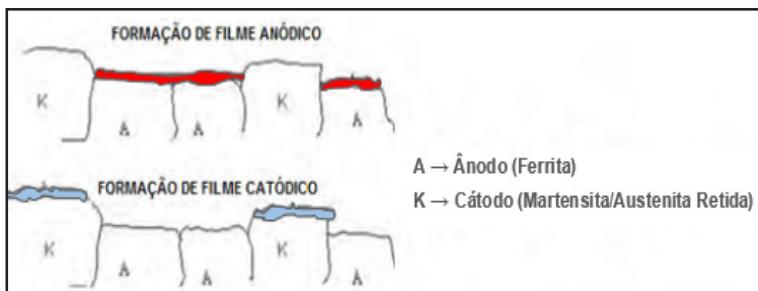


Figura 7 – Modelo de ataque catódico e anódico em um aço multifásico envolvendo depósito de reagente corrosivo sobre a superfície

Fonte: Adaptado de Fukugauchi (2010)

Em estudo realizado por Fukugauchi (2010), observou-se que as soluções reativas quimicamente causam erosão quando em contato com superfícies metálicas, sendo retardada pela polarização. Ainda, se o reagente corrosivo escolhido proporcionar um produto de reação diferente da superfície metálica, torna-

se possível a formação de depósitos sobre a superfície dos diferentes componentes da estrutura – conforme observado na Figura 7.

Em escala microscópica, os ataques coloridos mais utilizados consistem naqueles que depositam um pequeno filme de sulfeto sobre a superfície da amostra. A análise realizada com o reagente LePera permite apresentar a martensita e austenita retida na coloração branca e a em tons azulados – conforme apresentado na Figura 8.

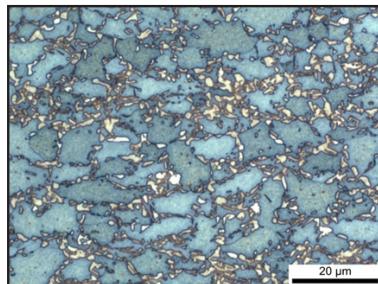


Figura 8 – Microestrutura via microscópio ótico para um aço DP após ataque químico com reagente LePera, via microscópio ótico (MO)

Fonte: Autor

Outro reagente importante para os aços multifásicos consiste no Klemm. Sua importância consiste na capacidade de apresentar a quantidade isolada da austenita presente na amostra analisada. A caracterização dos constituintes presentes na microestrutura permite observar uma matriz ferrítica na cor azul, a martensita na cor marrom e a austenita em cor branca – conforme apresentado na Figura 9.

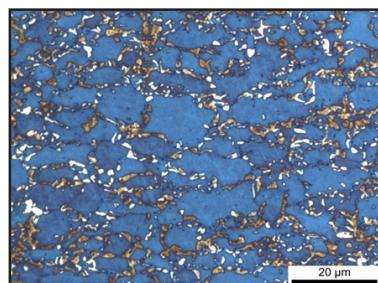


Figura 9 – Microestrutura via microscópio ótico para um aço DP após ataque químico colorido com reagente Klemm

Fonte: Autor

## 4 | CONCLUSÕES

Para os aços multifásicos (AHSS), os ataques químicos apresentam uma grande gama de reagentes que permitem a caracterização e quantificação de quase todos os constituintes microestruturais. A quantificação dos elementos constituintes do aço requer um processo de adaptação de acordo com cada constituinte a ser analisado, em que o mesmo pode ter maior ou menor afinidade ao ataque químico utilizado. Ainda, observou-se que os ataques químicos coloridos permitem aos aços multifásicos uma melhor e mais eficaz caracterização dos constituintes de sua microestrutura.

## REFERÊNCIAS

BHADESHIA, Harshad; HONEYCOMBE, Robert. **STEELS: Microstructure and Properties**. 4. ed. Oxford: Butterworth-heinemann, 2017. 461 p.

COLPAERT, Hubertus. **Metallography of Steels - Interpretation of Structure and the Effects of Processing**. 4. ed. Asm International, 2018. 699 p.

DIAS, Alexandre Nogueira Ottoboni. **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM AÇO BIFÁSICO COM DIFERENTES MICROESTRUTURAS**. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.

FONSTEIN, Nina. **Advanced High Strength Sheet Steels: Physical Metallurgy, Design, Processing, and Properties**. Switzerland: Springer International Publishing, 2015.

FUKUGAUCHI, Cristina Sayuri. **METODOLOGIA PARA CARACTERIZAÇÃO METALOGRÁFICA DE UM AÇO TRIP POR MICROSCOPIA ÓPTICA**. 2010. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

KEELER, Stuart; KIMCHI, Menachem. Advanced high-strength steels application guidelines V5. **WorldAutoSteel**, 2017.

LEPERA, F. Improved etching technique for the determination of percent martensite in high-strength dual-phase steels. **Metallography**, v. 12, n. 3, p. 263–268, 1979.

LESCH, Christian; KWIATON, Norbert; KLOSE, Frank B. Advanced high strength steels (AHSS) for automotive applications– tailored properties by smart microstructural adjustments. **steel research international**, v. 88, n. 10, p. 1700210, 2017.

OLIVEIRA, Fernando Coelho de. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS CICLOS TÉRMICOS DE DIFERENTES PROJETOS DE FORNOS DE RECOZIMENTO CONTÍNUO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE AÇOS BIFÁSICOS GALVANIZADOS**. 2013. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

PUSHKAREVA, Irina. **Evolution microstructurale d'un acier Dual Phase.**: Optimisation de la résistance à l'endommagement. 2009, 195 f. Tese (Doutorado) - Curso de Science Et Ingénierie Des Matériaux, Ecole Doctorale Energie, Mécanique Et Matériaux, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 2009.

RANA, Radhakanta; SINGH, Shiv Brat. **Automotive steels: design, metallurgy, processing and applications**. Woodhead Publishing, 2016.

REISINGER, S. et al. Differentiation of grain orientation with corrosive and colour etching on a granular bainitic steel. **Micron**, [s.l.], v. 99, p.67-73, ago. 2017.

SMITH, B. et al. Technology Roadmaps: Intelligent Mobility Technology, Materials and Manufacturing Processes, and Light Duty Vehicle Propulsion. **the center for automotive research, Ann Arbor, Michigan**, 2017.

VANDER VOORT, George Frederic. **ASM Handbook**: Metallography and Microstructures. 9. ed. Asm International, 2004.

# CAPÍTULO 14

## APLICAÇÃO DA SINERGIA ENTRE CORANTE SINTÉTICO N719 E NATURAIS DO GÊNERO *OENOCARPUS* EM CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES

Data de aceite: 01/10/2020

Data de sumissão: 07/08/2020

**Rafael Becker Maciel**

Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná

Guarapuava – Paraná

<https://orcid.org/0000-0002-7469-7002>

**Everson do Prado Banczek**

Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná

Guarapuava – Paraná

<http://lattes.cnpq.br/7523573139592166>

**Guilherme José Turcatel Alves**

Instituto Federal do Paraná

Cascavel – Paraná

<http://lattes.cnpq.br/5917871102224665>

**Paulo Rogério Pinto Rodrigues**

Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná

Guarapuava – Paraná

<https://orcid.org/0000-0001-8383-7225>

**RESUMO:** O investimento de setores e governos em fontes renováveis de energia aumentou nas últimas décadas, devido ao alto impacto ambiental gerado pela queima, e pela previsão alarmante de esgotamento das fontes de combustíveis fosseis. O desenvolvimento de tecnologia para o aproveitamento da energia solar no Brasil é muito importante, pois uma grande região do país fica localizada muito próxima a linha

do Equador e recebe radiação praticamente o ano todo. As células solares sensibilizadas por corantes estão ganhando espaço no mercado e possuem vantagens interessantes do ponto de vista ambiental e econômico. Os corantes mais utilizados atualmente são os complexos metálicos baseados em rutênio, destacando-se por apresentar uma ampla faixa de absorção de energia, além de ser estável e possuir grupos adsorventes que se ligam fortemente ao óxido. Entretanto, o valor médio do grama deste tipo de corante, pode chegar a cerca de U\$3,000.00. Por isso, novos corantes para uso em CSSCs são de extrema importância. A aplicação de corantes naturais minimiza o custo de produção. Deste modo, destacam-se as espécies Bacaca (*Oenocarpus bacaba*) e Patuá (*Oenocarpus bataua*), cujos corantes advindos dos frutos são passíveis de aplicação em CSSCs. O objetivo principal deste trabalho é utilizar células baseadas em  $Nb_2O_5$ ,  $TiO_2$  e  $TiO_2/Nb_2O_5$  e mistura dos corantes sintético N719 e naturais do gênero *Oenocarpus*, para o estudo da sinergia entre estes. A obtenção dos corantes se dará por extração em meio etanólico ácido (pH 2,0) e descanso em vidro âmbar por 72h. A montagem será em formato sanduíche, e serão realizadas medidas de fotocronoamperometria, curva  $JxE$  e impedância eletroquímica, por fim obtendo-se os valores de eficiência. Espera-se como resultado uma CSSC, com associação dos corantes estudados, em que a eficiência da mesma mantenha-se em um valor significativo frente à literatura, porém com um custo menor à do corante N719.

**PALAVRAS-CHAVE:** CSSC; patauá; bacaba;

bioenergia; energias renováveis.

## APPLICATION OF THE SYNERGETIC EFFECT BETWEEN SYNTHETIC N719 DYE AND NATURAL DYES FROM THE *OENOCARPUS* GENRE IN DYE SENSITIZED SOLAR CELLS

**ABSTRACT:** Investment by sectors and governments in renewable energy sources has increased in recent decades, due to the high environmental impact generated by burning, and the alarming forecast of depletion of fossil fuel sources. The development of technology for solar energy in Brazil is of high importance, as a large region of the country is located very close to the Equator and receives radiation almost all year round. Dye-sensitized solar cells are gaining ground in the market and have interesting environmental and economic advantages. The most widely used dyes today are metal complexes based on ruthenium, standing out for presenting a wide range of energy absorption, in addition to being stable and having adsorbent groups that bind strongly to the oxide. However, the average gram value of this type of dye is around U\$ 3,000.00. Therefore, it is of most importance the research of new dyes to sensitize DSSCs. The application of natural dyes minimizes the cost of production. In this way, the Bacabal (*Oenocarpus bacaba*) and Patuá (*Oenocarpus bataua*) species stand out, whose dyes from the fruits are applicable to DSSCs. The main objective of this work is to use cells based on  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$  and  $\text{TiO}_2 / \text{Nb}_2\text{O}_5$  and a mixture of synthetic N719 and natural dyes of the genus *Oenocarpus*, to study the synergy between those. The dyes will be obtained by extraction in ethanolic acid medium (pH 2.0) and resting in amber glass for 72 hours. The assembly will be in sandwich, and measurements of photochronamperometry,  $J \times E$  curve and electrochemical impedance will be performed, to obtain the efficiency values. As a result, a DSSC is expected, with the association of the studied dyes, in which its efficiency remains at a significant value compared to the literature, but at a lower cost than the N719 dye.

**KEYWORDS:** DSSC; pataua; bacaba; bioenergy; renewable energies.

## 1 | INTRODUÇÃO

A demanda energética mundial tem aumentado cada vez mais com o crescimento da população. Assim, torna-se importante o desenvolvimento de pesquisas com ênfase em energias alternativas. Neste contexto, o uso da energia solar vem ganhando espaço, principalmente as células fotovoltaicas, que são dispositivos capazes de converter a radiação solar em energia elétrica, consideradas uma fonte de energia limpa, de baixo custo de produção e baixo potencial de poluição ambiental (PEDROSA, et al., 2017).

As células solares sensibilizadas por corantes (DSSCs) são dispositivos que podem converter a luz solar em eletricidade por um efeito fotovoltaico. São compostas por um óxido semicondutor sensibilizado por uma molécula capaz de absorver energia na região do visível, um eletrólito e um contra-eletrodo (VIOMAR, 2019).

O corante mais utilizado atualmente são os complexos metálicos baseados em rutênio, tipo N719, destacando-se por apresentar uma ampla faixa de absorção de energia, além de ser estável e possuir grupos adsorventes que se ligam fortemente o óxido. Entretanto, o valor médio do grama deste tipo de corante, tem um valor extremamente alto. Sendo assim, há a necessidade de novos estudos de diferentes corantes para uso em CSSC e geração de energia. A aplicação de corantes naturais é uma alternativa para a redução de custo deste tipo de CSSC.

A sensibilização de óxidos semicondutores para produção de energia era uma prática conhecida há muito tempo, porém com baixa eficiência de conversão. Em 1991 Michael Gratzel e Brian O'Regan conseguiram um feito histórico elevando a eficiência de células solares sensibilizadas por corantes (CSSC ou DSSC, dye sensitized solar cell) de 2% para 7,9%, o que tornou-a interessante economicamente, pois o aumento da eficiência alcançado por esses pesquisadores foi devido a união de nanotecnologia e materiais de baixo custo (PARIDA et al., 2011; GRÄTZEL, 2003; O'REGAN, 1991).

A montagem e o funcionamento de CSSC são relativamente simples (figura 1). Sendo um ânodo, em que tem-se o óxido semicondutor sensibilizado depositado sobre uma placa vítreia condutora, o contra eletrodo, o qual utiliza-se, frequentemente, uma placa de vidro recoberta por platina e um eletrólito permeando os dois eletrodos (HANGSFELDT, 2010; PARIDA et al., 2011).

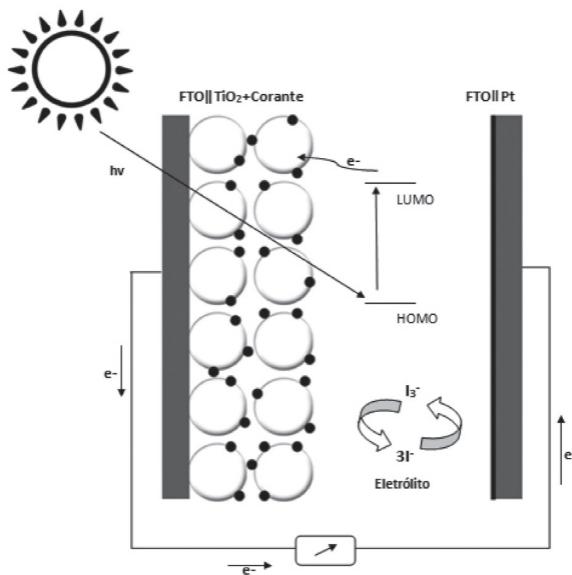


Figura 1. Representação do funcionamento da CSSC. (TRACTZ, 2018).

Os corantes mais utilizados atualmente são os complexos metálicos baseados em rutênio, tipo N719. Esses compostos destacam-se por apresentar uma ampla faixa de absorção de energia, além de serem estáveis e possuírem grupos adsorventes que se ligam fortemente o óxido. Por apresentarem complexas rotas sintéticas e serem desenvolvidos para aplicação em sistemas do tipo CSSC, o valor médio do grama deste tipo de corante, pode chegar a cerca de U\$ 3,000.00 (três mil dólares). Este elevado custo é o principal responsável pela minimização do uso deste tipo dispositivos CSSC em larga escala. Por isso o desenvolvimento e estudos de novos corantes, usados para a geração de energia são extremamente importantes (HANGFELDT et Al, 2010; PATROCINIO et al, 2010; XIONG et al, 2015; AGNALDO et al, 2006; SUCOIU et al, 2011).

Como alternativa aos corantes sintéticos surge a ideia de desenvolver CSSC com corantes naturais obtidos do gênero *Oenocarpus*, que apesar de apresentarem baixo aproveitamento energético, apresentam baixo custo e possuem antocianinas que viabilizam seu uso (KUMARA, et al, 2017, ALWANI et al 2016).

As antocianinas são uma classe de metabólitos de flores e frutas e proporcionam uma coloração bastante característica em produtos naturais como a uva, berinjela, ameixa e hibisco. São hidrossolúveis e facilmente extraídos em solução etanólica acidificada. As antocianinas, dentre elas as antocianidinas apresentam diferentes grupos cromóforos na estrutura, como as carbonilas (C=O) e as hidroxilas (OH) que são os responsáveis por absorver energia e ancorarem na superfície do semicondutor (GONG e SUMANTHY, 2012).

Sendo assim, o objetivo principal deste trabalho é associar a mistura de concentração dos corantes sintético N719 e dos naturais do gênero *Oenocarpus* visando a aplicação em células solares para geração de energia.

## 2 | JUSTIFICATIVAS

A busca por alternativas viáveis para substituição de parte de nossa matriz energética, da fóssil para a renovável, tem como um dos seus maiores empecilhos o alto custo destas. Portanto, faz-se necessário buscar alternativas de menor valor.

Ademais, a utilização de produtos brasileiros, como as frutas do gênero *Oenocarpus* podem também gerar desenvolvimento social na região de cultivo e extração dessas frutas. Friza-se que não serão prejudicadas as comunidades locais (amazonenses) que exploram as frutas pois será utilizado o resíduo dos frutos.

## 3 I METODOLOGIA

### Produção dos Óxidos

A pasta de  $TiO_2$  será preparada seguindo a metodologia de artigos já publicados na área que deverão ser estudados mais a fundo. Posteriormente, a pasta será depositada em substrato condutor FTO, através da metodologia “Doctor Blading”, sendo sinterizada a 450°C na mufla por 30 minutos e submetidos à imersão por 24 horas em diferentes soluções dos corantes naturais.

### Obtenção e extração dos corantes naturais

Os corantes naturais serão adquiridos do resíduo da casca dos frutos das do gênero *Oenoasrpus*. Os corantes naturais serão extraídos de fontes naturais do gênero *Oenocarpus*, não prejudicando o extrativismo local (amazonense), já que serão empregados resíduos dos mesmos, sendo que os mesmos serão amassados em um cadiño com pistilo, diluídos em solução etanólica e deixados descansar por 72 h em frasco âmbar, lugar escuro. Após, serão filtrados e a solução de corante natural empregada na construção das CSSC. Após testes eletroquímicos somente dois corantes naturais serão escolhidos e designados neste projeto como corantes naturais 1 e 2.

### Caracterização morfológica

A morfologia dos filmes será analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura, Espectroscopia de Energia Dispersiva, Difratometria de Raios X, Espectroscopia de fluorescência de raio X e Espectroscopia Raman.

### Caracterização eletroquímica

As análises eletroquímicas que serão realizadas são: Espectroscopia de Impedância Eletroquímica; Densidade de corrente em função do potencial; Fotocronoamperometria; Espectroscopia de fotovoltagem com intensidade modulada; Espectroscopia de photocorrente com intensidade modulada e Extração de carga

Todas as medidas serão realizadas no potenciostato Zhenium Zhanner, com lâmpada de Xenônio, espectro padrão de 1.5 AM e intensidade de radiação de 100 mW cm<sup>-2</sup>.

## REFERÊNCIAS

AGNALDO, J.S.; BASTOS, J.B.V.; CRESSONI, J.C.; VISWANATHAN, G.M. Células solares de  $TiO_2$  sensibilizados por corante. *Revista Brasileira do Ensino Física*, 77(28), 2006.

ALWANI, M.A.M; MOHAMAD, A.B; LUDIN, N.A; KADUM, A.A.H; SOPIAN, K. Dye – sensitized solar cells. Development, structure, operation principles, electron kinetics, characterization, synthesis materials and natural photosensitizers. **Renewable and sustainable energy reviews**, 65, 183-213, 2016.

Costa, S. V.; Mazon, T.; Tomioka, J. Síntese de nanoestruturas por método hidrotermal e aplicações em CSSC. **Novas Edições Acadêmicas**, p. 128, 1a Ed, V.1, Brasil, 2015.

GONG, J.; LIANG, J.; SUMANTHY, K. Review on dye sensitized solar cells (DSSCs): Fundamental concepts and novel materials. **Renewable and sustainable energy reviews**, 16, 5848-5860. 2012.

GRÄTZEL, M. Dye-sensitized solar cells. **Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews**, 4(2), 145–153, 2003.

HAGSFELDT A., BOSCHLOO G., SUN L., KLOO L., PETTERSSON H. Dye-Sensitized Solar Cells. **Chem. Rev.** 110, 6595–6663, 2010.

KUMARA, N. T. R. N.; LIM, A.; LIM, C. M.; PETRA, M. I.; EKANAYAKE, P. Recent progress and utilization of natural pigments in dye sensitized solar cells: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 78, 301-317, 2017.

O'REGAN, B.; GRÄTZEL, M. A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal  $TiO_2$  films. **Nature**, 353(6346), 737–740, 1991.

PARIDA, B., INIYAN, S. & GOIC, R. A review of solar photovoltaic technologies. **Renew. Sustain. Energy Rev.** 15, 1625–1636, 2011.

PATROCÍNIO, A. O; ILHA, N. Y. M. Em busca da sustentabilidade: células solares sensibilizadas por extratos naturais. **Química Nova**, 33, 2010.

PEDROSA, T. H. B; SOARES, L. G. L; ZÖMER, B. P; SANTOS, L. M. M; ANDRADE, T. S; SCARPELLINI, M; AMADO, R. S. Síntese e Caracterização de um complexo transrutênio(ii) para Células Solares sensibilizadas por corantes. **9º Encontro Técnico de Materiais e Química (ETMQ)**. UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.

SUCOIU, R.C; ROSU, M.C; SILIPAS, T.D; BIRIS, A. R; BRATU, A. R; INDREA. E.  $TiO_2$  thin films prepare by spin coating technique. **Review Roumain of Chimie**, 56, 50, 2011.

TRACTZ, Gideā et al. Avaliação Da Adsorção E Estudo Eletroquímico De Células Solares Produzidas Com  $TiO_2$  E Corante Extraído Do Hibiscus. **Química Nova**, v. 41, n. 5, p. 512–518, 2018.

VIOMAR, A. Desenvolvimento e caracterização de célula solar sensibilizada por corantes composta de  $TiO_2$  e  $Nb_2O_5$ . (Tese de Doutorado) Universidade Estadual do Centro Oeste, 2018

XIONG, K; HOU, L; WU, M; HUO, Y; MO, W; YUAN, Y; SUN, S; XU, W; WANG, E. From Spin Coating to doctor blading: A systematic study on the photovoltaic performance of an isoindigo-based polymer. **Solar Energy and Materials Solar Cells**, 132, 252, 2015.

# CAPÍTULO 15

## PRODUÇÃO DE LIPASES FÚNGICAS DE *Penicillium sumatrense* POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO UTILIZANDO SEMENTE DE BARU (*Dipteryx alata*)

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 05/07/2020

**Marcia Regina Fagundes-Klen**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Toledo-PR

<http://lattes.cnpq.br/4348885757947045>

**Tayrine Mainko Hoblos Pozzobon**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Toledo-PR

<http://lattes.cnpq.br/4320546998485119>

**Francisco de Assis Marques**

Universidade Federal do Paraná  
Curitiba-PR

<http://lattes.cnpq.br/3196125782968915>

**Aline Danielly Awadallak**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Toledo-PR

<http://lattes.cnpq.br/7368624797518335>

**Maria Luiza Fernandes Rodrigues**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Toledo – PR

<http://lattes.cnpq.br/5773105347762056>

**Pedro Oswaldo Morell**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Toledo – PR

<http://lattes.cnpq.br/3569031380100164>

**Gustavo de Castilho Baldus**

Unipar  
Cascavel-PR

<http://lattes.cnpq.br/8655640563759337>

**Leonardo Pedranjo Silva**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Toledo-PR

<http://lattes.cnpq.br/0582783030796202>

**Ruana Barbosa Benitez**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Toledo-PR

<http://lattes.cnpq.br/9743481702227543>

**Edson Antônio da Silva**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Toledo-PR

<http://lattes.cnpq.br/9304493875700070>

**RESUMO:** O interesse na produção de lipases está relacionado ao seu potencial tecnológico como biocatalisador em reações de hidrólise e síntese como esterificação, transesterificação (interesterificação, alcóolises e acidólises), bem como aminólise (síntese de amidas) e lactonização, em meios aquo-restritos, quando a quantidade de água do sistema é suficientemente baixa para deslocar o equilíbrio no sentido da síntese. A Fermentação no Estado Sólido (FES) surge como uma alternativa para redução de custos de produção do biocatalizador, pois é possível utilizar resíduos agroindustriais como substratos. O objetivo deste trabalho foi estudar a produção de lipase fúngica de *Penicillium sumatrense* por FES, utilizando como substrato a semente de Baru (*Dipteryx alata*). O microrganismo utilizado, *Penicillium sumatrense*, foi isolado das folhas de mamona (*Ricinus communis L.*) e identificado por sequenciamento de DNA ribossomal. A atividade enzimática foi

determinada pelo método titulométrico utilizando-se o óleo de oliva como substrato. Para otimizar a produção de lipases foi realizado um planejamento experimental 2<sup>2</sup>, visando avaliar os efeitos das variáveis envolvidas no processo (granulometria do substrato e umidade). A variável resposta escolhida foi a atividade enzimática em U (Unidades totais). As análises estatísticas foram realizadas pelo software Statistica 7.0. Os resultados do planejamento experimental indicaram que a atividade enzimática foi máxima (237,0 U ou 23,7 U gss<sup>-1</sup>) quando utilizamos uma umidade do substrato de 60 % (m/m, base úmida), granulometria do substrato de 15 Mesh, 28°C, após 72 h de fermentação. Os resultados obtidos demonstram uma alta atividade enzimática e a possibilidade de aplicação desta enzima como catalisador nas reações de síntese de ésteres do biodiesel.

**PALAVRAS-CHAVE:** FES, lipases, óleo de baru.

## PRODUCTION OF FUNGAL LIPASES OF *Penicillium sumatrense* BY FERMENTATION IN SOLID STATE USING BARU SEED (*Dipteryx Alata*)

**ABSTRACT:** The interest in the production of lipases is related to its technological potential as a biocatalyst in hydrolysis and synthesis reactions such as esterification, transesterification (interesterification, alcoholysis and acidolysis), as well as aminolysis (synthesis of amides) and lactonization, in aquo-restricted medium, when the amount of water in the system is low enough to shift the balance towards the synthesis. Solid State Fermentation (SSF) emerge as an alternative to reduce production costs of the biocatalyst, since it is possible to use agro-industrial waste as substrates. The objective of this work was to study the production of fungal lipase from *Penicillium sumatrense* by SSF using Baru seed (*Dipterix alata*) as substrate. The microorganism used, *Penicillium sumatrense*, was isolated from castor leaves (*Ricinus communis L.*) and identified by ribosomal DNA sequencing. The enzymatic activity was determined by the titrimetric method using olive oil as a substrate. In order to optimize the production of lipases, an experimental design 2<sup>2</sup> was carried out, aiming to evaluate the effects of the variables involved in the process (substrate size and moisture). The response variable chosen was the enzymatic activity U (Total units). The statistical analyzes were performed using Statistica 7.0 software. The results of the experimental design indicated that the enzymatic activity was maximum (237.0 U or 23.7 U gss<sup>-1</sup>) when used a substrate moisture of 60% (m/m, wet basis), substrate granulometry of 15 Mesh, 28 °C, after 72 h fermentation. The results obtained demonstrate a high enzymatic activity and the possibility of applying this enzyme as a catalyst in the synthesis reactions of biodiesel esters.

**KEYWORDS:** SSF, lipases, baru oil, biodiesel.

## 1 | INTRODUÇÃO

O óleo da semente de baru, um óleo vegetal como matéria-prima na produção de lipases, foi utilizado neste trabalho de pesquisa, principalmente por não ser uma variedade competitiva com outras culturas agriculturáveis e também porque existem

poucos trabalhos na literatura utilizando este óleo. Esta semente se prolifera na região do Planalto Central, principalmente no norte de Minas Gerais, Goiás e centro do Mato Grosso, indo até a costa atlântica do Maranhão. É constituída de uma fonte significativa de lipídeos e proteínas, sendo a sua composição de ácidos graxos semelhante as do óleo de amendoim, destacando-se os ácidos oleico e linoleico. O elevado grau de insaturação do óleo desta semente favorece seu uso para fins comestíveis e como matéria-prima industrial (TAKEMOTO *et al.*, 2001). O teor de lipídios da semente de baru é de 38% sendo mais elevado que o da soja (17%) e mais baixo que a castanha do Pará (67%) (ALMEIDA, 1988).

Há dois tipos básicos de fermentação para produção enzimas: a Fermentação Submersa (FS) e a Fermentação em Estado Sólido (FES). A FES é um processo onde se utilizam microrganismos que crescem em um substrato sólido na ausência ou baixo teor de água livre. A umidade deve ser suficiente para garantir o metabolismo e crescimento celular, sem exceder a capacidade máxima de retenção de água. Na FS, os substratos são dissolvidos em meio líquido (HANSEN *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2013). Neste trabalho, utilizou-se a FES para a produção de lipases, pois nesta técnica há possibilidade de emprego de meios de cultivo mais baratos, como aqueles constituídos de resíduos de produtos agrícolas não refinados (por exemplo, palhas, bagaços e tortas vegetais), que muitas vezes são até descartados pelas indústrias agrícolas e, que podem ser usados como substratos para geração de produtos de maiores valores agregados.

As lipases (glicerol éster hidrolises EC.3.1.1.3), pertencem a um grupo especial de esterases e representam uma importante classe de enzimas cujo papel biológico relaciona-se com a digestão e o metabolismo de gorduras. Estas enzimas são encontradas e amplamente distribuídas na natureza em tecidos animais e em microrganismos (LAGE *et al.*, 2016). Os fungos filamentosos principalmente aqueles pertencentes aos Gêneros *Aspergillus fusarium*, *Geotrichum*, *Mucor*, *Penicillium*, *Rhizomucor* e *Thermomyces* são reconhecidos como melhores produtores de lipases (CARDENAS *et al.*, 2001).

O interesse industrial por lipases vem aumentando gradativamente, especialmente nas áreas de engenharia de proteínas e enzimologia em meios não convencionais que aumentaram consideravelmente o potencial de aplicação das enzimas como catalisadores em processos industriais (ROVEDA *et al.*, 2010). Elas catalisam reações de hidrólise, esterificação e transesterificação em solventes orgânicos, sistemas bifásicos e em soluções micelares (DOS SANTOS *et al.*, 2016; LAGE *et al.*, 2016; COLLA *et al.*, 2012). Das muitas aplicações de lipases incluem as sínteses orgânicas, hidrólise de óleos e gorduras, melhoramento de sabor no processamento de alimentos, na indústria de detergentes, no tratamento de efluentes e resíduos gordurosos, nas indústrias de ração animal e de suplementos

na alimentação de não ruminantes, melhorando a utilização dos nutrientes das matérias primas que são mais difíceis de serem digeridas (RAMNATH, SITHOLE & GOVINDEN, 2017; BÓDALO *et al.*, 2009; JEGANATHAN *et al.*, 2007).

As lipases geralmente não requerem cofatores, atuam em uma ampla faixa de pH, são relativamente estáveis a altas temperaturas solventes orgânicos, líquidos iônicos, entre outros (ZORN *et al.*, 2016). O interesse pelas lipases para possíveis aplicações industriais é importante, pois a substituição de catalisadores químicos por estes biocatalisadores oferece vantagens no processo, como menor consumo de energia, maior rendimento e menor geração de subprodutos. Esta classe de enzimas pode converter de forma eficiente triglicerídeos em ésteres de ácidos graxos, o que atrai o interesse no campo de produção do biodiesel. Assim, muitos pesquisadores consideram que o uso de lipases como sendo uma alternativa “verde” em relação aos catalisadores químicos tradicionais, pois as enzimas não são tóxicas e sendo biodegradáveis, não poluem o meio ambiente.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O microrganismo utilizado neste trabalho foi uma cepa fúngica endofítica isolada das folhas de mamona (*Ricinus communis L.*), identificada como *Penicillium sumatrense*. O fungo endofítico *Penicillium sumatrense* já está identificado por sequenciamento de DNA ribossomal, de acordo com metodologia descrita por STRINGARI (2009). Para a produção da enzima, foi utilizado como substrato, a semente de baru (*Dipteryx alata*), adquirida da empresa Biominas – MG e o resíduo agroindustrial casca de arroz (*Oryza sativa*), adquirido da empresa Moinho Iguaçu – IGU.

### 2.1 Condições de cultivo no meio sólido

Para avaliar a produção da enzima, utilizou-se como substrato a semente de baru (*Dipteryx alata*) e a casca de arroz (*Oryza sativa*). Enquanto a semente de baru serviu como fonte de nutrientes e energia para o crescimento fúngico, a casca de arroz foi um suporte para o microrganismo.

Os ensaios de FES foram realizados conforme metodologia descrita por Rodrigues *et al.* (2015), com adaptações. Para a preparação do inóculo foram utilizados frascos de Erlenmeyers de 250 mL contendo o meio BDA – cloridrato de tetraciclina (250 mg L<sup>-1</sup> de meio BDA) e cloranfenicol (1% m/v). O fungo foi incubado em estufa a 28°C por quatorze dias. Após o crescimento foi feita a solução de esporos.

Para a FES foram utilizados Erlenmeyers de 250 mL, contendo, 5 gramas do resíduo agroindustrial casca de arroz (*Oryza sativa*) e 5 g de semente de baru

(*Dipteryx Alata*) com diferentes granulometrias (2,80 à 1,18 mm) e teores de umidade (50, 55 e 60%), utilizando-se tampão fosfato pH 7,0 (50 mM). Os experimentos foram realizados em duplicata.

Após o preparo, os substratos foram inoculados assepticamente com o inóculo. Nos estudos cinéticos, os sólidos foram incubados em estufa a 28°C durante 24 a 168 horas. Este estudo cinético foi realizado para se determinar o pico máximo de produção de lipases. A produção de lipase foi acompanhada pela dosagem da atividade lipolítica (método titulométrico) no material fermentado. A atividade lipolítica é expressa como unidades de atividade enzimática por grama de sólido fermentado ( $U\ gss^{-1}$ ).

## 2.2 Secagem do sólido fermentado

Nos estudos cinéticos e nos experimentos utilizando o Planejamento Experimental 2<sup>2</sup>, os sólidos fermentados foram congelados a 0 °C, por 24 horas, para interromper o crescimento fúngico. Após esse período, foram secos em estufa em circulação de ar por 48 horas à 30 °C, acondicionados em embalagens plásticas e armazenados em geladeira.

## 2.3 Otimização da fes através do delineamento fatorial

### 2.3.1 Otimização da Produção de Lipases de *Penicillium Sumatrense* Utilizando Planejamento Experimental 2<sup>2</sup>

Após os estudos cinéticos, realizou-se um planejamento experimental 2<sup>2</sup> com ponto central, empregando-se as variáveis que influenciam na produção da enzima: granulometria do substrato e umidade. O objetivo do Planejamento foi otimizar a produção de lipases. Todos os meios foram esterilizados em autoclave, e após atingir temperatura ambiente foram acrescidos de  $10^8$  esporos  $g^{-1}$  do inóculo. Os experimentos foram realizados conforme descrito em 3.1. Os níveis das variáveis analisadas podem ser observados na Tabela 1. A variável resposta escolhida foi a atividade enzimática em U (Unidades Totais) de cada meio fermentado. As análises estatísticas foram realizadas pelo software Statistica 7.0.

Experimento	Granulometria (Mesh)	Umidade (%)
1	(-1) 15,0	(-1) 50,0
2	(+1) 20,0	(-1) 50,0
3	(-1) 15,0	(+1) 60,0
4	(+1) 20,0	(+1) 60,0
5*	(0) 17,5	(0) 55,0
6*	(0) 17,5	(0) 55,0
7*	(0) 17,5	(0) 55,0

Tabela 1 – Planejamento experimental do delineamento fatorial  $2^2$  com ponto central aplicado no estudo da fermentação da semente de baru, utilizando-se o sólido fermentado produzindo a lipase de *Penicillium sumatrense*.

Legenda: Os experimentos foram realizados em duplicata. \* Ponto central.

Os experimentos foram realizados com diferentes combinações das variáveis independentes a fim de encontrar o melhor efeito desses fatores para a produção da lipase.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Cinética de produção da enzima

Nos estudos prévios avaliou-se a cinética de produção de lipases de *Penicillium sumatrense*. Os resultados da cinética de produção de lipases estão apresentados na Figura 3.

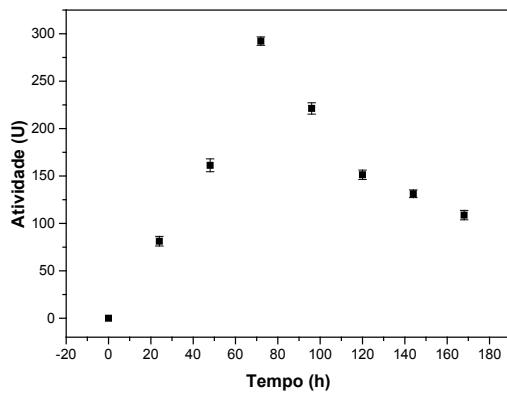


Figura 3- Cinética de produção de lipase fúngica de *Penicillium sumatrense* por fermentação no estado sólido. Os ensaios foram realizados com umidade de 55 %. Experimentos realizados em duplicata com temperatura de 28°C.

Os resultados demonstraram que inicialmente houve um aumento de atividade lipolítica com o tempo de fermentação devido ao maior crescimento do microrganismo em fase exponencial e maior disponibilidade de substrato. A maior atividade lipolítica (337,5 U ou 33,75 U gss<sup>-1</sup>) foi obtida após 72 horas de fermentação.

Após o tempo de 72 horas, nota-se uma diminuição dos valores de atividade lipolítica, provavelmente devido à diminuição da fonte de carbono dos óleos presentes no substrato. A queda na atividade lipolítica ocorre provavelmente porque o fungo começa a produzir proteases para processar as outras fontes de carbono menos abundantes. Essas proteases são capazes de hidrolisar as ligações peptídicas presentes em proteínas e outras enzimas (Oliveira *et al.*, 2012), desnaturando e diminuindo a concentração de lipases. Após realizar os estudos prévios, iniciou-se os estudos de FES através de um Planejamento experimental 2<sup>2</sup>.

### *3.1.1 Otimização da produção de lipases de *Penicillium sumatrense* utilizando planejamento experimental 2<sup>2</sup>*

Para otimizar a produção de lipases foi realizado um planejamento experimental 2<sup>2</sup> com ponto central, empregando as variáveis que influenciam na produção da enzima: granulometria do substrato e umidade. Os níveis das variáveis analisadas podem ser observados na Tabela 3. A variável resposta escolhida foi a atividade enzimática em U (Unidades Totais). As análises estatísticas foram realizadas pelo software *Statistica* 7.0.

Experimento	Granulometria (Mesh)	Umidade (%)	Unidades Totais (U)
1	-1 (15,0)	-1 (50,0)	110,0/ 105,0
2	+1 (20,0)	-1 (50,0)	97,0/ 93,0
3	-1 (15,0)	+1 (60,0)	235,0/ 219,0
4	+1(20,0)	+1 (60,0)	123,0/ 142,0
5*	0 (17,5)	0 (55,0)	152,0
6*	0 (17,5)	0 (55,0)	147,0
7*	0 (17,5)	0 (55,0)	160,0

Tabela 3- Resultados experimentais do delineamento fatorial 2<sup>2</sup> com ponto central aplicado no estudo da FES, utilizando a semente de baru como substrato, para a produção de lipase de *Penicillium sumatrense*.

Legenda: Os experimentos foram realizados em duplicata. \* Pontos centrais.

Os experimentos foram realizados com diferentes combinações das variáveis independentes a fim de encontrar o melhor efeito desses fatores para a produção

da lipase.

Com intuito de avaliar o efeito das condições operacionais investigadas foi utilizado o gráfico de Pareto, o qual é apresentado na Figura 4.

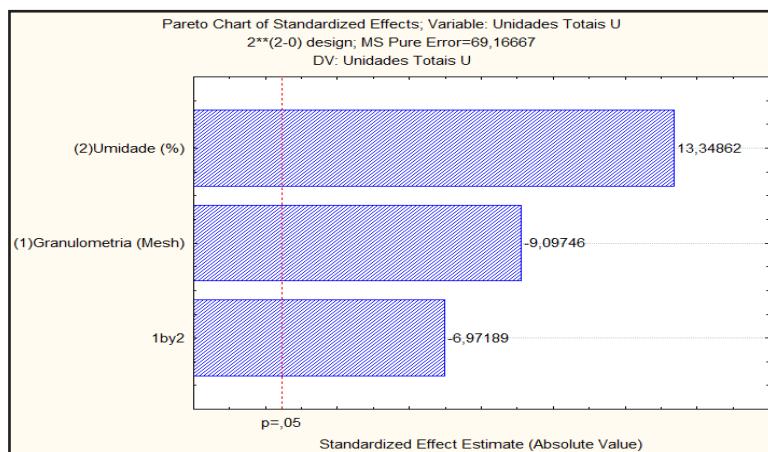


Figura 4- Gráfico de Pareto na interação dos efeitos das variáveis na atividade enzimática, com um intervalo 95% de confiança

Para este experimento, foi assumido o valor de  $p$  igual a 0,05, que indica a probabilidade do resultado obtido ter uma confiança de 95%. O delineamento experimental e as análises dos efeitos gerados pelas variáveis bem como seus valores de  $p$  foram calculados empregando-se o software *Statistica 7.0*. Ao analisar a Figura 4 podemos observar que as duas variáveis (umidade e granulometria) foram estatisticamente significativas dentro dos níveis avaliados a 95% de confiança.

O modelo foi validado a partir do valor de F obtido (Tabela 4), para o intervalo de confiança de 95%.

	SQ	GL	SM	F
<b>Modelo</b>	21751,91	4,00	5437,9775	78,6175
<b>Erro</b>	415,00	6,00	69,17	
<b>Total</b>	22166,91	10,00		

Tabela 4- Análise de variância (ANOVA) para o modelo de atividade enzimática obtida pelo fungo *Penicillium sumatrense*.

Legenda: SQ: Soma dos Quadrados; GL: Graus de Liberdade; SM: Soma dos Quadrados Médios; F: Distribuição F de Fisher-Snedecor

Observa-se pela Tabela 4, que o valor F de Fisher-Snedecor obtido para o modelo é 78,6175. Com os valores dos graus de liberdade do modelo e do erro, encontrou-se o valor do F tabelado como sendo 4,534. Como o valor F obtido é superior ao valor F tabela, o modelo é considerado significativo e válido. O modelo obtido, em variáveis codificadas, é apresentado na Equação 01, de Regressão em Unidades Codificadas.

$$\begin{aligned} \text{Unidades Totais} &= 143,91 - 26,75 \times \text{Granulometria} + 39,25 \times \text{Umidade} - 20,50 \\ x \text{ Granulometria} \times \text{Umidade} & \end{aligned} \quad (\text{Eq. 01})$$

Os valores obtidos das atividades enzimáticas observadas e previstas pelo modelo são apresentados na Figura 5 e sugerem uma correlação satisfatória entre valores experimentais e previstos.

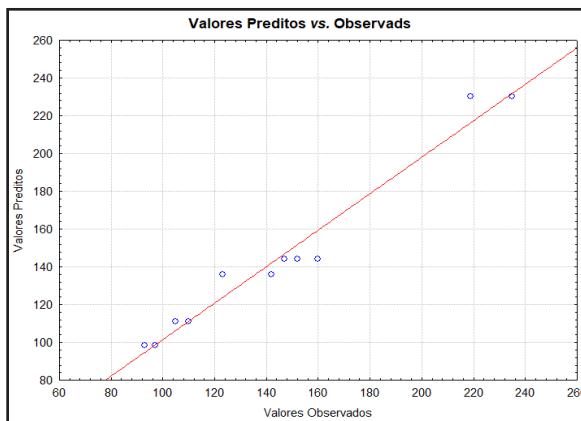


Figura 5 - Gráfico de paridade para mostrar a distribuição dos observados e os valores previstos para produção de lipase.

Nota-se na Figura 5, que os pontos observados e preditos não se distanciam muito da reta identidade, deste modo, torna-se possível afirmar que o modelo segue uma distribuição normal observando que há um bom ajuste. Além do mais, o modelo apresenta a distribuição do erro de forma aleatória, fato que elimina a existência de erros sistemáticos ou de que a análise seja tendenciosa, o que atribui uma maior confiabilidade ao modelo.

Os gráficos de contorno e de superfícies de respostas obtidas são apresentados nas Figuras 6, respectivamente, concluindo-se que o processo de produção da enzima é altamente influenciado pelo efeito combinado da granulometria e da umidade do meio fermentativo. Onde podemos notar que com o aumento da umidade e diminuição da granulometria há uma maior produção da enzima lipase.

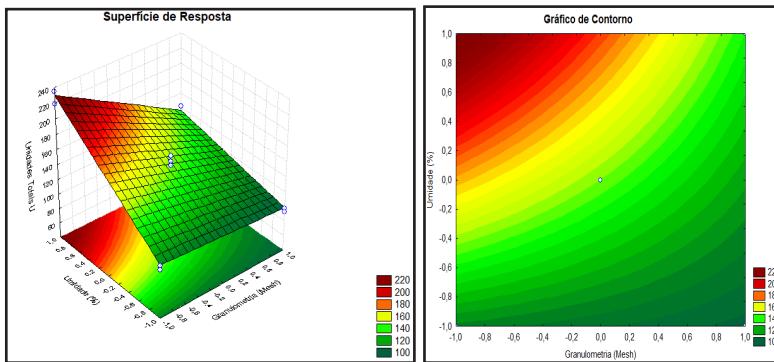


Figura 6 Gráfico de superfícies de resposta que apresenta a interação entre as variáveis Granulometria e Umidade para a produção de lipase.

A granulometria é um parâmetro importante para o crescimento e atividade microbiana no substrato. O tamanho das partículas interfere diretamente no crescimento pois as partículas menores aumentam a superfície de contato ocorrendo um melhor aproveitamento dos nutrientes o que favorece o crescimento fúngico. Porem partículas menores podem dificultar a troca gasosa e dissipação de calor neste contexto a granulometria deve ser selecionada de acordo com cada estudo e processo em particular (PANDEY, 2003; PANDEY *et al.*, 1999). Analisando-se o gráfico de superfícies de resposta, verifica-se que a condição ótima para a granulometria foi de 15 mesh (1,18 mm).

Analizando-se os gráficos de Contorno e de Superfície de Resposta, observa-se que para aumentar o valor da resposta Unidade U, é preciso caminhar em direção ao menor valor da granulometria e para o maior valor da Umidade.

Verifica-se que não obtemos efetivamente um ponto ótimo, pois tem-se uma superfície plana. Indica-se um novo planejamento, onde estes pontos sejam considerados como os novos pontos centrais, no âmbito de encontrar o ponto ótimo. Porém, dentro das limitações do teor de umidade na FES (entre 50 e 65%) os resultados obtidos foram ótimos. Segundo BINOD *et al.* (2015), a fermentação será classificada como submersa (FS) quando é conduzida com um teor alto de água livre, com uma umidade superior a 65% e, quando a fermentação ocorre com um índice de água livre reduzido, umidade inferior a 65%, a fermentação será caracterizada como fermentação em estado sólido (FES). Portanto, deve-se trabalhar com uma umidade que mantenha o equilíbrio entre a disponibilidade de água, expansão do substrato e efeitos de difusão do oxigênio.

## 4 | CONCLUSÃO

Este trabalho demostrou a viabilidade da produção de lipases por *Penicillium sumatrense* em FES, utilizando um substrato alternativo e inovador tendo em vista, que não foram encontrados outros trabalhos publicados com o mesmo substrato para produção de lipases de *Penicillium sumatrense*.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S.P. Cerrado: **Aproveitamento alimentar**. Planaltina, DF: Embrapa CPAC, p. 188, 1988.

BINOD, P.; PANDEY, A.; SINDHU, R. **Solid-State Fermentation for the production of Poly(hydroxyalkanoates)**. Chemical and Biochemical Engineering, v.9, p. 173-181, 2015.

BÓDALO, A.; BASTIDA, J.; MÁXIMO, M.F.; MONTIEL, M.C.; GÓMEZ, M.; ORTEGA, S. **Screening and selection of lipases for the enzymatic production of polyglycerol polyricinoleate**. Biochemical Engineering Journal, Amsterdam, v. 46, p. 217-222, 2009.

CARDENAS, F.; DE CASTRO, F.C.; SANCHEZ-MONTERO, J. V.; SINISTERRA, M.; VALMASEDA, S. W.; ALVAREZ, E. **Novel microbial lipases: catalytic activity in reactions in organic media**. Enzyme and Microbial Technology, v.28, p. 145-154, 2001.

COLLA, L.M.; REINEHR, C.O.; COSTA, V.A.J. **Aplicações e Produção de Lipases Microbianas. Applications and Production of Microbial Lipases**, Revista CIATEC – UPF, v.4, n. 2, p.1-14, 2012.

DOS SANTOS, F.; REZENDE, C.A.; MARTÍNEZ, J. **Activity of immobilized lipase from *Candida antarctica* (Lipozyme 435) and its performance on the esterification of oleic acid in supercritical carbon dioxide**. The Journal of Supercritical Fluids, v. 107, 2016.

JEGANATHAN, J.; NAKHLA, G.; BASSI, A. **Oily wastewater treatment using a novel hybrid PBR-UASB system**. Chemosphere, v. 67, n. 8, p. 1492-1501, 2007.

HANSEN, G.H. et al. **Production of cellulolytic enzymes from ascomycetes: Comparison of solid state and submerged fermentation**. Process Biochemistry, v. 50, p. 1327–1341, 2015.

LAGE, F.A.P.; BASSI, J.J.; CORRADINI, M.C.C.; TODERO, L.M.; LUIZ, J.H.H.; MENDES, A.A. **Preparation of a biocatalyst via physical adsorption of lipase from *Thermomyces lanuginosus* on hydrophobic support to catalyze biolubricant synthesis by esterification reaction in a solvent-free system**. Enzyme and Microbial Technology, v. 84, p. 56–67, 2016.

OLIVEIRA, A.C.D., WATANABE, F.M.F., FERNANDES, M.L., MARIANO, A.B. **Production and characterization of an extracellular lipase from *Candida guilliermondii***. Brazilian Journal of Microbiology 45, 1503-1511, 2014.

OLIVEIRA, A.C.D. ; WATANABE, F.M.F. ; FERNANDES, M.L.M ; VARGAS, J.V.C. ; MARIANO, A.B. **Lipase production by endophytic yeast through factorial design**. Academia Journal of Microbiology Research, v. 1, p. 16-21, 2013.

OLIVEIRA, A.C.D.; WATANABE, F.M.F.; VARGAS, J.V.C.; MARIANO, A.B.; RODRIGUES, M.L.F. **Comparação entre três bioprocessos para a produção de enzimas proteolíticas utilizando resíduos agroindustriais.** Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial 6, 822-831, 2012.

ROVEDA, M.; HEMKEMEIER, M.; COLLA, L.M. **Evaluation of lipase production using different strains of microorganisms isolated from dairy effluent through submerged fermentation.** Ciéncia e Tecnologia de Alimentos, v. 30, n. 1, p. 126-131, 2010.

RODRIGUES, M.L.F.; DA SILVA, E.A.; BORBA, C.E., OLIVEIRA, A.C.D.; KRUGER, C.; RAIMUNDO, R.W.; SILVA, L.P.; VANZIN, M.; STUANI, B.T. **Produção de enzimas hidrolíticas pelo fungo endofítico *Penicillium sp.* Isolado das folhas de *Ricinus communis L.*** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.4, p. 129- 145, 2015.

PANDEY, A. **Solid-state fermentation.** Biochemical Engineering. Journal, v. 13, p. 81-84, 2003.

PANDEY, A.; SOCCOL, C.R.; MITCHELL, D. **New developments in solid state fermentation: I.** Bioprocesses and products. *Proces Biochemistry*, v. 35, p. 1153-1169, 1999.

RAMNATH, L.; SITHOLE, B. & GOVINDEN, R. **Classification of lipolytic enzymes and their biotechnological applications in the pulping industry.** Canadian Journal of Microbiology, v. 63, p. 179–192, 2017.

STRINGARI, D. **Sistemática e Diversidade Genética de Isolados de *Guignardia spp.* e *Phyllosticta sp.* nos Estados do Paraná e São Paulo.** Tese (Doutorado em Genética), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 209 f, 2009.

TAKEMOTO, E.; et al. **Composição química da semente e do óleo de baru (*Dipteryx alata Vog.*) nativo do Município de Pirenópolis, Estado de Goiás.** Revista do Instituto Adolfo Lutz, v. 60, n. 2, p. 113-117, 2001.

ZORN, K.; GUINEA, I.; BRUDIEK, H.; BORNCHEUER, U. **Engineering and application of enzymes for lipid modification, an update.** Progress in Lipid Research, v. 63, n.1, p.153-164, 2016.

# CAPÍTULO 16

## PRODUÇÃO DE MANGANÊS PEROXIDASE A PARTIR DO *CERIPORIOPSIS SUBVERMISPORA*

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 15/07/2020

**Gabriela Mundim Maciel**

Universidade Federal de São João Del Rei  
Ouro Branco – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/5718231120738673>

**Sandra de Cássia Dias**

Universidade Federal de São João Del Rei  
Ouro Branco - Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/8339793010218033>

**RESUMO** Os fungos do gênero *Ceriporiopsis Dom.* pertencem à divisão Basidiomycota e família Polyporaceae. *Ceriporiopsis subvermispora* é classificado como fungo da podridão branca e promove a deslignificação em algumas espécies de madeira. *C. subvermispora* secreta manganês peroxidase e lacase, enzimas ligninolíticas, que clivam lignina. Lignina é um polímero complexo com estrutura fenólica. Enzimas ligninolíticas secretadas pelos fungos da podridão branca degradam lignina e poluentes orgânicos como, corantes têxteis, pesticidas organoclorados. Desta forma, enzimas ligninolíticas tem aplicações promissoras em diversos setores, químicos, alimentícios, agrícolas e têxtil, entre outros. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de fontes de carbono (acetato de sódio, óleo de soja, glicerol, farelo de trigo e glicose), fontes de nitrogênio (peptona, nitrato de amônio e ureia) e indutores (sulfato de manganês, Tween 80® e ácido acético) na síntese de manganês peroxidase

pelo *Ceriporiopsis subvermispora* utilizando o Plackett-Burman. Os cultivos foram mantidos a 30°C, 100 rpm durante 20 dias. Amostras foram retiradas no 5º, 12º e 20º dia, centrifugadas e o sobrenadante obtido, utilizado para quantificar a manganês peroxidase. Os resultados obtidos foram analisados utilizando o software Statistica 7.0. Dentre as variáveis estudadas, apenas o Mn<sup>2+</sup> influenciou negativamente a síntese da MnP pelo *Ceriporiopsis subvermispora*, no 20º dia. Entretanto, variáveis, como pH, temperatura, velocidade de agitação do cultivo, concentração do inóculo deverão ser investigadas para resultados mais completos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Planejamento experimental; enzimas ligninolíticas; tratamento de efluente; fungos de podridão branca.

### PRODUCTION OF MANGANESE PEROXIDASE BY CERIPORIOPSIS SUBVERMISPORA

**ABSTRACT:** *Ceriporiopsis Dom.* is a genus of fungi, that belongs in the Basidiomycota phila and Polyporaceae family. The white rot fungi *Ceriporiopsis subvermispora* causes a seletive wood biodelignification. This fungus secretes manganese peroxidase and laccase that cleaves lignin. Lignin is a polymer with nonrepeating and irregular phenolic structure. Ligninolytic enzymes of the white rot fungi can degrade lignin and organic pollutants like textile dyes and organochlorines pesticides. In this way, ligninolytic enzymes have potential applications in a large number of fields, including chemical, food, agricultural, paper, textile, sectors and more. The

aim of this study was to investigate the influence of carbon source (sodium acetate, soy oil, glycerol, wheat bran and glucose), nitrogen source (peptone, ammonium nitrate and urea) and inductors (manganese sulphate, Tween 80® and acetic acid) in the manganese peroxidase biosynthesis by *Ceriporiopsis subvermispora*. Experimental design Plackett-Burman was used. The cultures were incubated at 30°C, 100 rpm for 20 days. Samples were taken at days 5°, 12° e 20°. Next, samples were centrifuged, and the supernatant was used to determine manganese peroxidase activity. The results obtained was analyzed by Statistica 7.0 software. The unique variable that have influence of manganese peroxidase biosynthesis was manganese sulphate. The Mn(II) has a negative correlation with manganese peroxidase biosynthesis by *Ceriporiopsis subvermispora*, only at 20° day. Variables like pH, temperature, agitation and inoculum concentration should be investigated for a more complete work.

**KEYWORDS:** Experimental design; ligninolytic enzymes; White rot fungi; waste treatment.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os fungos de podridão branca pertencem a divisão Eumycota (fungos verdadeiros), filo Basidiomycota, classe Hymenomycetes, subclasse Holobasidiomycetidae. Esta subclasse abriga quase todos os fungos degradadores de madeira e alguns fungos decompositores (BURDSALL JR, 1998).

Os fungos de podridão branca constituem um grupo heterogêneo que causam a podridão em madeiras e troncos de árvores. Os micélios penetram na cavidade das células e liberam enzimas ligninolíticas que decompõem o xiloma, dando origem a uma massa branca com aspecto de espuma. O sistema enzimático dos fungos de podridão branca é constituído por enzimas extracelulares ligninolíticas, como as oxidorredutases (lacase, manganês peroxidase, lignina peroxidase). Estas enzimas atuam especificamente sobre a estrutura complexa e variável da lignina, e de forma inespecífica sobre xenobióticos aromáticos, como pesticidas, hidrocarbonetos poliaromáticos, bifenilas policloradas, dioxinas, trinitrotolueno e alguns corantes têxteis (CHEN et al., 2010; ZHENG; WIANG, 2015; PERIASAMY; NANI; AMBIKAPATHI., 2019). *Pleurotus ostreatus*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor*, *Ganoderma lucidum* e *Ceriporiopsis subvermispora* são algumas espécies deste grupo.

*C. subvermispora* é um fungo filamentoso, pertence à família Polyporaceae sendo encontrado em regiões temperadas, como sul do Canadá, norte da América do Norte e Europa Central (DOMINGOS et al., 2017). Lacase (Lac), manganês peroxidase (MnP), lignina peroxidase (LiP) e a peroxidase versátil (Pv) são as principais enzimas ligninolíticas produzidas pelo *C. subvermispora* (BILAL et al., 2017). Destas, manganês peroxidase e lacase são extensivamente estudadas (JANUSZ et al., 2013).

Manganês peroxidases (E.C. 1.11.1.13) ou peroxidase dependente de Mn, foi isolada pela primeira vez a partir do fungo *Phanerochaete chrysosporium* (KUWAHARA et al., 1984) e posteriormente identificada em outros fungos da degradação branca. A MnP é produzida pelos fungos das famílias de basidiomicetos (Agaricales, Corticiales, Polyporales, Hymenochaetales). MnP são heme-proteínas glicosiladas expressas como múltiplas isoenzimas, dependente de  $H_2O_2$ , massa molar variando de 38 a 62,5 kDa, em média 45 a 47 kDa, pl de 3 a 5 (JANUSZ et al., 2013; SINGH et al., 2015). A manganês peroxidase (MnP) oxida  $Mn^{2+}$  a  $Mn^{3+}$ , o  $Mn^{3+}$  é altamente reativo, sendo responsável pelas oxidações das estruturas fenólicas da lignina (WONG., 2009). A ampla distribuição da MnP nos fungos causadores da podridão branca, sugere fortemente que esta enzima desempenha um papel importante na biodegradação da lignina. Em culturas líquidas de composição definida, o *C. subvermispora* pode secretar até onze isoenzimas de MnP, com pl na faixa de 3,2 a 4,6, provavelmente estas isoenzimas tem diferentes necessidades para Mn(II) e especificidade para substratos (URZÚA et al., 1995).

Asíntese de MnP é regulada por fatores nutricionais, como tipo e concentração da fonte de nitrogênio e carbono, proporção entre as fontes de carbono e nitrogênio, presença de indutores, Mn(II), Cu(II), fatores ambientais, como temperatura, pH e tipo de agitação (WONG., 2009). A síntese de MnP dos fungos *Nematoloma frowardii* b19 e *Clitocybula dusenii* b11, é estimulada quando acetato de sódio e glicose são utilizados como fonte de carbono e Mn(II) acrescido ao meio como indutor (NUSKE et al., 2002). Urek e Pazarlioglu (2005) observaram que a suplementação do meio de cultivo com Tween 80® e Mn(II) favoreceu a síntese de MnP pelo *Phanerochaete chrysosporium* em estado sólido (UREK e PAZARLIOGLU., 2005).

Manganês peroxidase é uma enzima com aplicações biotecnológicas promissoras em diferentes indústrias (Figura 1). Esta enzima pode ser empregada na indústria de alimentos para a produção de aromas e clarificação de sucos. Na indústria de papel, seu emprego na biopolpação reduz o impacto ambiental, pois diminui o uso de substâncias químicas e o gasto energético do processo. O tratamento de biomassa vegetal, como resíduos agroindustriais, com a MnP e outras enzimas ligninolíticas pode ser empregado para a produção do etanol de 2<sup>a</sup> geração. Outra importante aplicação da MnP é a biorremediação, sua atividade não específica sobre compostos aromáticos é de grande importância no tratamento de efluentes da indústria têxtil, degradação de desreguladores endócrinos de efluentes domésticos e industriais e organoclorados (FALADE et al., 2018; GOWDHARY et al., 2019). Outra aplicação da MnP é seu emprego em biosensores e células de bioenergia (MACIEL; SILVA; RIBEIRO, 2010).

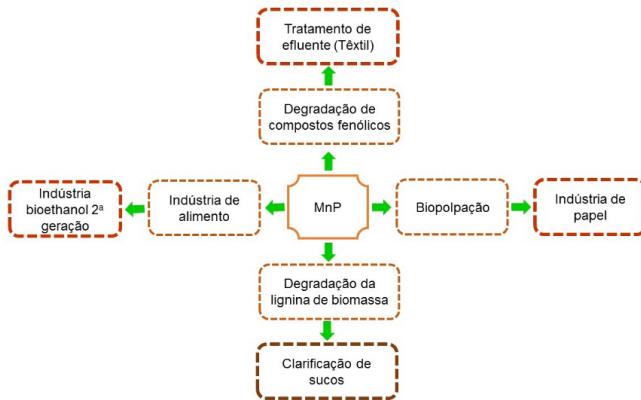


Figura 1 – Aplicações biotecnológicas da Manganês peroxidase.

As diversas aplicações da MnP, tem estimulado pesquisas com o objetivo de otimizar sua síntese em cultivo sólido ou submerso utilizando fungos de podridão branca, contribuindo, assim, para a utilização da MnP em processos industriais e, consequentemente, a diminuição dos impactos ambientais.

O objetivo deste trabalho foi investigar, por meio do planejamento experimental *Plackett-Burman*, a influência de diferentes fontes de carbono, nitrogênio e indutores na síntese de manganês peroxidase utilizando o fungo *Ceriporiopsis subvermispora* L1487-SS3.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Manutenção do micro-organismo

O fungo *Ceriporiopsis subvermispora*, cepa L1487 – SS3, foi repicado em placas de petri, contendo o meio de manutenção ( $\text{g L}^{-1}$ ): extrato de malte (20), extrato de levedura (2) e ágar (20). As placas foram incubadas a 30°C, durante 7 dias e armazenadas a 4°C durante 15 dias (MENDES, 2008).

### 2.2 Inóculo

O inóculo foi preparado utilizando a metodologia descrita em Mendes (2008), com algumas adaptações. Discos de 1,6 cm de diâmetro foram removidos da placa de Petri, contendo o *C. subvermispora*, e transferidos para dois Erlenmeyer de 250 mL contendo 50 mL do meio basal ( $\text{g L}^{-1}$ ): extrato de malte (20), extrato de levedura (2) e dextrose (1) pH 4,5. Os Erlenmeyers foram mantidos a 30°C, 150 rpm durante 13 dias. Decorrido o tempo de incubação, as células foram recuperadas e transferidas para tubos cônicos de 50 mL contendo 30%  $\text{v v}^{-1}$  preenchido por esferas de vidro, e o restante, de suspensão celular. Os tubos foram agitados no vórtex três vezes de 15

segundos, cada. A seguir, a suspensão celular foi recuperada e a concentração de células e esporos presentes na suspensão foi determinada utilizando a equação 1.

$$\text{Concentração de células e esporos (mgm L}^{-1}\text{)} = \frac{\{\text{massa filtro+células (mg)}\} - \text{massa filtro (mg)}}{\text{volume de suspensão utilizado (mL)}} \quad (1)$$

## 2.3 Síntese de manganês peroxidase utilizando o planejamento experimental PLACKETT-BURMAN

O planejamento estatístico PB é utilizado para avaliar a influência relativa de um grande número de variáveis, selecionando os fatores mais significativos para o processo (LEVIN et al., 2005).

O planejamento estatístico Plackett-Burman (PB) foi utilizado para avaliar a influência relativa de 11 variáveis; 5 fontes de carbono (acetato de sódio, óleo de soja, glicerol, farelo de trigo, glicose), três fontes de nitrogênio (peptona, nitrato de amônio e ureia) e 3 indutores (sulfato de manganês, Tween 80® e ácido acético), Tabela 1.

O cultivo utilizou 20 mL de meio contendo (g L<sup>-1</sup>): KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (1), MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (1), NaCl (0,05), CaCl<sub>2</sub> (0,25), e 0,5 mL de succinato de sódio 50 mmol L<sup>-1</sup> pH 4,5. A massa de inóculo utilizada foi 3,15 mg de células e esporos para cada 20 mL de meio de cultivo. De acordo com o planejamento experimental, cada Erlenmeyer foi acrescido de diferentes quantidades das fontes de carbono, nitrogênio e indutores conforme apresentado na Tabela 2. Os 16 cultivos e o ponto central foram mantidos a 30°C, 100 rpm durante 20 dias. Amostras foram retiradas no 5°, 12 ° e 20 ° dia, centrifugadas a 5000 x g, durante 5 minutos e 10°C. O sobrenadante foi denominado extrato enzimático bruto e utilizado para quantificar a atividade enzimática da MnP.

Código	Variáveis independentes	Níveis		
		-1	0	1
		g L <sup>-1</sup>	g L <sup>-1</sup>	g L <sup>-1</sup>
X <sub>1</sub>	Sulfato de Manganês	0,2	1,1	2
X <sub>2</sub>	Acetato de sódio	0,3	1,65	3
X <sub>3</sub>	Óleo de soja	0,2	1,1	2
X <sub>4</sub>	Tween 80®	0,1	0,3	0,5
X <sub>5</sub>	Glicerol	1	5,5	10
X <sub>6</sub>	Farelo de trigo	0	2,5	5
X <sub>7</sub>	Glicose	1	5,5	10
X <sub>8</sub>	Peptona	0,5	2,75	5
X <sub>9</sub>	Nitrato de amônio	0,2	1,1	2
X <sub>10</sub>	Uréia	1	6,0	11
X <sub>11</sub>	Ácido acético	0,5	2,75	5

Tabela 1 – Matrix experimental para a avaliação dos fatores do cultivo do *Ceriporiopsis subvermispora* sobre a síntese da MnP. Variáveis codificadas e decodificadas e seus níveis codificados e respectivos valores utilizados no planejamento Plackett – Burman.

Ensaio	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1
2	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
3	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
4	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1
5	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1
8	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1
9	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
10	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
11	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
12	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1
13	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
14	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1
15	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 2 – Matriz do planejamento experimental Plackett-Burman para síntese de MnP em cultivo submerso do *C. subvermispora*. A matriz foi gerada pelo software STATISTICA (StatSoft 7.0).

PC= ponto central

## 2.4 Determinação da atividade da manganês peroxidase

Em tubos de ensaio, foram adicionados 100  $\mu$ L de  $\text{MnSO}_4$  1 mmol  $\text{L}^{-1}$ , 100  $\mu$ L succinato de sódio 20 mmol  $\text{L}^{-1}$ , 100  $\mu$ L de Lactato de sódio 250 mmol  $\text{L}^{-1}$ , 100  $\mu$ L de albumina 1%  $\text{m v}^{-1}$ , 500  $\mu$ L do extrato enzimático bruto, 100  $\mu$ L de vermelho fenol 0,1%  $\text{m v}^{-1}$ , 50  $\mu$ L de  $\text{H}_2\text{O}_2$  2 mmol  $\text{L}^{-1}$ . Após 10 minutos, foram adicionados 50  $\mu$ L de NaOH 2,5 mmol  $\text{L}^{-1}$ . A absorbância foi obtida a 610 nm (VARET; KALSI; HATAKKA., 1995). A atividade enzimática da MnP foi calculada utilizando equação 2 (SILVA et al., 2014).

$$\text{MnP (U.L}^{-1}\text{)} = \frac{\Delta \text{Absorbância}_{610\text{nm}} \times 10^6}{\epsilon \times \text{volume (mL)} \times \text{Tempo (min)}} \quad (2)$$

$\epsilon$ = coeficiente de extinção do fenol oxidado a 610 nm= 4460  $\text{L m}^{-1} \text{cm}^{-1}$

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A atividade da MnP dos ensaios da matriz do planejamento fatorial Plackett-Burman (Tabela 2), foi determinada no 5º, 12º e 20º dia de cultivo (Figura 2). No 5º dia, os ensaios 6 (13,41  $\text{U.L}^{-1}$ ) e 7 (9,10  $\text{U.L}^{-1}$ ) apresentaram as maiores atividades

enzimáticas. Já no 12º dia, os ensaios com maior atividade enzimática foram os ensaios 1( $18,72 \text{ U.L}^{-1}$ ) e 6 ( $18,45 \text{ U.L}^{-1}$ ). Finalmente, no 20º dia, os ensaios 1 ( $17,60 \text{ U.L}^{-1}$ ) e 3 ( $17,64 \text{ U.L}^{-1}$ ) apresentaram as maiores atividades enzimáticas. Os ensaios 2, 4, 5, 10, 12 e 14 apresentaram a menor atividade de MnP em todos os tempos analisados. Por outro lado, os ensaios 1,3, 6 e 7 apresentaram as maiores atividades enzimáticas nos tempos analisados (5º, 12º e 20º dia), Figura 2.

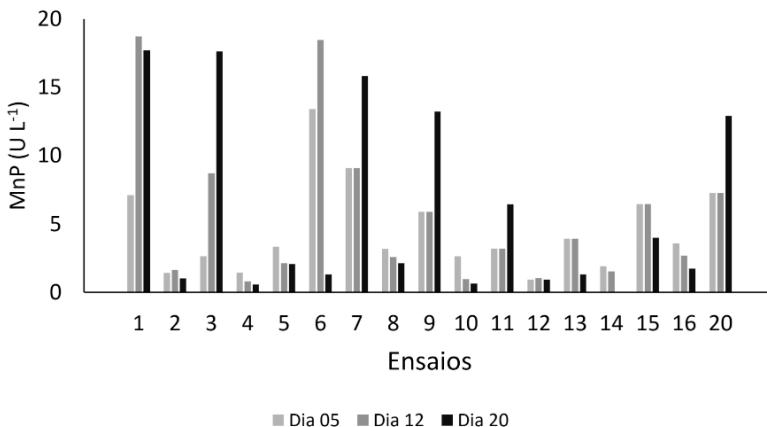


Figura 2 - Atividade enzimática de MnP durante o cultivo do fungo *C. subvermispora* utilizando o planejamento fatorial Plackett-Burman.

Os dados obtidos a partir do planejamento Plackett-Burman (Figura 2), foram tratados utilizando o programa Statistica 7®. Apenas a variável codificada  $X_1$ , sulfato de manganês, foi significativa estatisticamente. O sulfato de manganês teve correlação negativa com a síntese da MnP, ou seja, o aumento da concentração de sulfato de manganês no meio de cultivo diminuiu a síntese da MnP (Figura 3). O  $\text{MnSO}_4$ , na concentração de  $1 \text{ mmol L}^{-1}$ , induziu a síntese de MnP  $750 \text{ U L}^{-1}$  no cultivo do *Fomes scherodermeus* (PAPINUTTI e FORCHIOSSIN, 2003). De acordo com o planejamento experimental, Tabela 1, observamos que a menor concentração de sulfato de manganês utilizada neste trabalho,  $0,2 \text{ g L}^{-1}$ , corresponde a  $1,32 \text{ mmol L}^{-1}$ , já a maior concentração,  $2 \text{ g L}^{-1}$ , corresponde a  $13,2 \text{ mmol L}^{-1}$ , ou seja: uma concentração 10x maior que utilizada para o fungo *F. scherodermeus* (PAPINUTTI e FORCHIOSSIN, 2003). Isto pode explicar o comportamento repressor do sulfato de manganês na síntese de MnP pelo *C. subvermispora*, no presente trabalho. A presença de Mn(II) no meio de cultivo contendo o *C. subvermispora* é fundamental para a secreção desta enzima para o meio extracelular (MANCILA; CANESSA; MANUBENS., 2010). Entretanto, acima de determinadas concentrações, o íon pode inibir a secreção da MnP ou inativá-la.

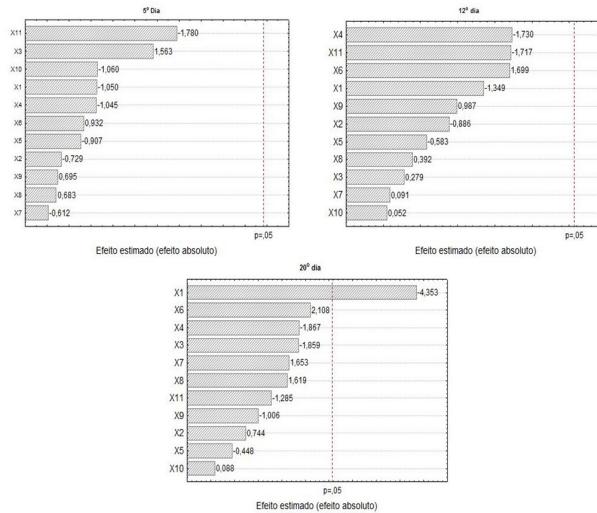


Figura 3 – Diagrama de Pareto para avaliar o efeito das variáveis investigadas sobre a síntese de manganês peroxidase pelo *C. subvermispora*.

Embora as outras variáveis estudadas não influenciaram a síntese de MnP pelo *C. subvermispora*, a literatura reporta a influência de algumas das variáveis sobre a síntese de MnP. Urek e Pazarlioglu (2007) investigaram a influência do Tween 80®, sulfato de amônia e glicerol na síntese de MnP pelo fungo *Phanerochaete chrysosporium*. Tween80® 0,05 % v/v-1, Mn(II) 174  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , glicerol 6,65 g  $\text{L}^{-1}$  e nitrato de amônio 20 mmol  $\text{L}^{-1}$  favoreceram a síntese de MnP. Urek e Pazarlioglu (2007) além de utilizarem outra espécie de fungo, investigaram a influência das variáveis isoladamente, o que pode explicar a disparidade dos resultados da literatura e os reportados neste trabalho.

Temperatura, pH, velocidade de agitação do cultivo e concentração do inóculo podem interferir na síntese de enzimas ligninolíticas, como Lac e MnP. O pH 5,0 estimulou a síntese das enzimas lacase, MnP e LiP por *Ganoderma lucidum* (HARIHARAN E NAMBISAN, 2013). De acordo com a literatura, a fonte de carbono pode estimular ou inibir a síntese de enzimas ligninolíticas, a depender do tipo e da sua concentração. Glicose, manitol, cellobiose, maltose, lactose, gluconato de sódio, avicel, carboxi-metil-celulose foram utilizadas separadamente a 10g  $\text{L}^{-1}$  no cultivo do *Trametes versicolor*. Dentre as fontes acima, a melhor síntese de MnP, 44 U  $\text{L}^{-1}$  no 8º dia, foi detectada quando a glicose foi acrescentada ao meio de cultivo (NIKIASHVILI et al., 2005).

## 4 | CONCLUSÃO

O íon Mn(II) nas concentrações utilizadas inibiu a síntese de MnP pelo *Ceriporiopsis subvermispora* no 20º dia de cultivo. Estudos adicionais utilizando, como pH, temperatura, concentração de inóculo e faixa de concentração diferentes das empregadas contribuirá para resultados mais robustos.

## REFERÊNCIAS

BILAL, M.; ASGHER, M.; PARRA-SALDIVAR, R.; HU, H.; WANG, W.; ZHANG, X.; IQBAL, H. M. N. **Immobilized ligninolytic enzymes: An innovative and environmental responsive technology to tackle dye-based industrial pollutants – A review**. *Science of The Total Environment*, v. 576, p. 646-659, 2017.

BURDSALL JR, H. H. Taxonomy of Industrially Important White-Rot Fungi. In: YOUNG, R. A.; AKHTAR, M. **Environmentally Friendly Technologies for the Pulp and Paper Industry**. New Jersey: Wiley, 1998. p. 259-272. Disponível em: <https://www.fpl.fs.fed.us/documents/pdf1998/burds98a.pdf>. Acesso em: 10 Jul. 2020.

CHEN, W.; ZHENG, L.; JIA, R.; WANG, N. **Cloning and expression of a new manganese peroxidase from *Irpex lacteus* F17 and its application in decolorization of reactive black 5**; *Process Biochemistry*, v.50, n. 11, p. 1748-1759, 2015.

DOMINGOS, M.; SOUZA-CRUZ, P. B.; FERRAZ, A.; PRATA, A. M. R. **A new bioreactor design for culturing basidiomycetes: Mycelial biomass production in submerged cultures of *Ceriporiopsis subvermispora***. *Chemical Engineering Science*, v. 170, p.670-676, 2017.

FALADE, A. O.; MABINYA, L. V.; OKOH, A. I.; NWODO, U. U. **Ligninolytic enzymes: Versatile biocatalysts for the elimination of endocrine-disrupting chemicals in wastewater**. *Microbiology open*, v.7, n. 6, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mbo3.722>. Acesso em: 10/07/2020.

GHOWDHARY, P.; SHUKLA, G.; RAJ, G.; FERREIRA, L. F. R.; BHARAGAVA, R. N. **Microbial manganese peroxidase: a ligninolytic enzyme and its ample opportunities in research**. *Springer Nature Applied Sciences*, v. 1, 2019, Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s42452-018-0046-3.pdf>. Acesso em: 10 julho 2020.

HARIHARAN, S., NAMBISAN, P. **Optimization of lignin peroxidase, manganese peroxidase, and Laccase production from *Ganoderma lucidum* under solid state fermentation of pineapple leaf**. *Bioresources*. v. 8, n. 1, p. 250-271, 2013.

JANUSZ, G.; KUCHARZYK, K. H.; PAWLIK, A.; STASZCZAK, M.; PASZCZYNSKI, A. J. **Fungal laccase, manganese peroxidase and lignina peroxidase: Gene expression and regulation**. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 52, p. 1-12, 2013.

KUWAHARA, M; GLENN, J. K; MORGAN, M. A; GOLD, M. H. **Separação e caracterização de duas oxidases dependentes de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> extracelulares de culturas ligninolíticas de *Phaerochaete chrysosporium***. *Carta FEBS*. v. 169, p. 247-250, 1984.

LEVIN, L.; FORCHIASSIN, F.; VIALE, A. **Ligninolytic enzyme production and dye decolorization by *Trametes trogii*: application of the Plackett–Burman experimental design to evaluate nutritional requirements.** Process Biochemistry. v. 40, p.1381-1387, 2005.

MACIEL, M. J.M.; SILVA, A.C.; RIBEIRO, H. C. T. **Industrial and biotechnological applications of ligninolytic enzymes of the basidiomycota: A review.** Eletronical Journal Biotechnology., v. 13, p. 14-15, 2010.

MANCILA, R. A.; CANESSA, P.; MANUBENS, A.; RAFAEL, V. **Effect of manganese on the secretion of manganese-peroxidase by the basidiomycete *Ceriporiopsis subvermispora*.** Fungal, Genetic Biology, v. 47, p. 6560 - 661, 2010.

MENDES, A. A. **Importância dos mediadores de baixa massa molar na biodegradação de madeira por *Ceriporiopsis subvermispora*.** 121f. Tese (Doutorado em) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, USP, Lorena, 2008.

MIKIA SHVILI, N.; ELISASHVILI, V.; WASSER, S.; NEVO, E. **Carbon and nitrogen sources influence the ligninolytic enzyme activity of *Trametes versicolor*.** Biotechnology Letters, v. 27, p. 955-959, 2005.

NUSKE, J.; SCHEIBNER, K.; DORNBURGER, U.; ULLRICH, R.; HOFRICHTER, M. **Large scale production of manganese-peroxidase using agaric white-rot fungi.** Enzyme and microbial technology, v. 30, p. 556-561, 2002.

PAPINUTTI, V. L.; FORCHIASSIN, F. **Optimization of manganese peroxidase and laccase production in the South America fungus *Fomes scherodermeus* (Lév.) Cke.** Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, v.30, p. 536-541, 2003.

PERIASAMY, D.; MANI, S.; AMBIKAPATHI, R. White rot fungi and their enzymes for the treatment of industrial effluents. YADAV, A. N.; SINGH, S.; MISHRA, S.; GUPTA, A. **Recent Advancement in White Biotechnology Through Fungi, Fungal Biology.** New York: Springer Nature, p. 73-100, 2019.

SILVA, M. L. C.; BRITO DE SOUZA, V.; SANTOS, V.S.; KAMIDA, H. M.; VASCONCELLOS-NETO, J.R.T.; GÓES-NETO, A.; KOBLITZ, M.G.B. **Production of manganese peroxidase by *Trametes villosa* on unexpensive substrate and its application in the removal of lignin from agricultural wastes.** Advances in Bioscience and Biotechnology, v.5, p. 1067-1077, 2014.

SINGH, R. L.; SINGH, P. K.; SINGH, R.P. **Enzymatic decolorization and degradation of azo dyes – A review.** International Biodeterioration & Biodegradation, v.104, p.21-31, 2015.

UREK, R. O.; PAZARLIOGLU, N. K. **Enhanced production of manganese peroxidase by *Phanerochaete chrysosporium*.** Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 50, n. 6, p. ,913-920, 2007.

UREK, R. O.; PAZARLIOGLU, N. K. **Production and stimulation of manganese peroxidase by immobilized *Phanerochaete chrysosporium*.** Process Biochemistry, v. 40. P. 83-87, 2005.

URZÚA, U.; LARRONDO, L. F.; LOBOS, S.; LARRAÍN, J.; VICUNA, R. **Oxidation reactions catalyzed by manganese peroxidase isoenzymes from *Ceriporiopsis subvermispora*.** FEBS Letters, v. 371, p. 132-136, 1995.

VARES T., KALSI M., HATAKKA A. **Lignin Peroxidases, Manganese Peroxidases, and Other Ligninolytic Enzymes Produced by *Phlebia radiata* during Solid-State Fermentation of Wheat Straw.** Applied And Environmental Microbiology, p. 3515–3520, 1995.

WONG, D. W.S. **Structure and action mechanism of ligninolytic enzymes.** Applied Biochemistry and Biotechnology, v. 157, p. 174-209, 2009.

WONG, D. W.S. **Structure and action mechanism of ligninolytic enzymes.** Applied Biochemistry and Biotechnology, v. 157, p. 174-209, 2009.

# CAPÍTULO 17

## EXTRATO DE CASCAS DO *Allium sativum L.* COMO ANTIOXIDANTE PARA BIODIESEL DE CANOLA

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 07/07/2020

### Débora Yumi Pelegrini

Universidade Estadual do Centro Oeste  
Unicentro  
Guarapuava – PR  
<http://lattes.cnpq.br/6455626509127017>

### Nayara Lais Boschen

Universidade Estadual do Centro Oeste  
Unicentro  
Guarapuava – PR  
<http://lattes.cnpq.br/5797559633606904>

### Cynthia Beatriz Furstenberger

Universidade Estadual do Centro Oeste  
Unicentro  
Guarapuava – PR  
<http://lattes.cnpq.br/1950137747785419>

### Everson do Prado Banczek

Universidade Estadual do Centro Oeste  
Unicentro  
Guarapuava – PR  
<http://lattes.cnpq.br/7523573139592166>

### Marilei de Fátima Oliveira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Guarapuava – PR  
<http://lattes.cnpq.br/4133384254474257>

### Paulo Rogério Pinto Rodrigues

Universidade Estadual do Centro Oeste  
Unicentro  
Guarapuava – PR  
<http://lattes.cnpq.br/1559766893291724>

**RESUMO:** Os combustíveis fósseis mantêm suas características pouco alteradas ao longo do tempo de estocagem, o biodiesel tende a degradar rapidamente quando exposto a diversos fatores. Estudos atuais demonstram a grande capacidade de compostos naturais que apresentam em sua composição agentes antioxidantes os quais podem substituir os antioxidantes sintéticos, este é o caso do *Allium sativum L* (ASL). O objetivo deste trabalho é avaliar a capacidade antioxidante das cascas de alho no tempo de oxidação deste biocombustível. O biodiesel com a concentração de 13 g L<sup>-1</sup> foi submetido ao teste de estabilidade Oxidativa acelerada a temperatura de 110 °C no equipamento Rancimat®, o tempo de indução ultrapassou o tempo mínimo de 8 horas exigido pela norma europeia, EN 14214, alcançando um tempo máximo de 10,64 horas.

**PALAVRAS - CHAVE:** Biocombustível, extrato natural, estabilidade oxidativa, resíduo agroindustrial.

### PEEL EXTRACT FROM *Allium sativum L.* AS AN ANTIOXIDANT FOR CANOLA BIODIESEL

**ABSTRACT:** Fossil fuels maintain their characteristics little changed over the time of storage, biodiesel tends to degrade quickly when exposed to several factors. Current studies demonstrate the great capacity of natural compounds that have in their composition antioxidant agents which can replace synthetic antioxidants, this is the case of *Allium sativum L* (ASL). The objective of this work is to evaluate the antioxidant capacity of garlic peels in the

oxidation time of this biofuel. Biodiesel with a concentration of 13 g L<sup>-1</sup> was subjected to the oxidative stability test accelerated to 110 °C in the Rancimat® equipment, the induction time exceeded the minimum time of 8 hours required by the European standard, EN 14214, reaching a maximum time 10.64 hours.

**KEYWORDS:** Biofuel, natural antioxidant, stability oxidative, agro-industrial residue.

## 1 | INTRODUÇÃO

O biodiesel pode ser definido como combustível renovável e de queima limpa, produzido através de matérias primas de origem vegetal e animal (Ramos et al., 2003; ANP, 2020). Este biocombustível pode ser produzido por meio de diversos processos como, craqueamento e transesterificação, que por sua vez é a mais utilizada devido ao fato de que apenas está gera ésteres alquilícos de óleos e gorduras, este método pode utilizar catalisadores alcalinos, ácidos, enzimáticos e álcoois de cadeia curta como metanol e etanol (Knothe et. al, 2006; Cadernos NAE, 2005).

O padrão de qualidade americano, norma ASTM D6751 e o estabelecido na União EN 14214 do Comitê Europeu figuram como os mais conhecidos e são geralmente usados como referência ou base para outros padrões (Knothe et. al, 2006)

A agência nacional do petróleo, gás natural e biocombustíveis (ANP) é o órgão responsável por averiguar e garantir a qualidade do biodiesel produzido no Brasil, através de normas técnicas que fixam e determinam limites com relação as características deste biocombustível, a resolução mais recente que vigora atualmente é a Resolução ANP nº 45 de 25.8.2014, atualizada em 2019, que estabelece novo limite de estabilidade a oxidação de 12 horas.

Diferentemente dos combustíveis fósseis que apresentam suas características pouco alteradas durante longos períodos de armazenagem, o biodiesel devido a ação de diversos fatores como ar, luz, umidade e temperatura, tende a degradar-se rapidamente. Quando exposto a ação do ar ocorre o fenômeno de oxidação, que é a capacidade do biodiesel reagir com o oxigênio presente no ar a temperaturas ambientes ocasionando a redução do tempo máximo de estocagem deste combustível. Deste modo a estabilidade a oxidação é um critério de qualidade para o biodiesel (Borsato et al. 2010; Suota et al. 2018).

A ferramenta utilizada para o controle deste revés, a indústria e os principais produtores de biodiesel, utilizam aditivos, como os antioxidantes, que podem ser sintéticos, por exemplo: hidroxitolueno butilado (BHT), hidroxianisol butilado (BHA), terc-butil hidroquinona (TBHQ) e galato de propila (PG), entretanto, estes por sua vez apresentam propriedades toxicas a saúde e ao meio ambiente. E além destes, existem também os antioxidantes naturais que vêm sendo estudados

por apresentarem propriedades antioxidantes capazes de substituir parcial e/ou totalmente os antioxidantes sintéticos (Del Ré, Jorge, 2012; Ferrari, Souza, 2008).

Dentro da ordem botânica Tubiflorae Lamiales encontra-se a Liliaceae esta classe possui mais de 700 espécies que podem ser encontradas no mundo todo, boa parte dessa grande gama de variedade é utilizada na forma de condimento e tempero como por exemplo: *M. piperita L.* (hortelã), *Ocimum basilicum L.* (majericão), *O. vulgare L.* (orégano), *Rosmarinus officinalis L.* (alecrim), *Allium sativum L.* (alho), entre outros. Sua origem se deu na Ásia Central e desde a antiguidade vem sendo utilizado devido as suas inúmeras propriedades entre elas a de antioxidante. O *Allium Sativum L.* é uma planta herbácea dividida em bulbo e dentes, em sua composição o alho apresenta compostos bioativos, fenólicos, fitosterois e organosulfurados e derivados, que por sua vez conferem-lhe características antioxidantes (FUZZATTI, CRUZ e GILENO, 2017; LIMA, CARDOSO, 2007; FONSECA et al.2014).

Desta forma o alho pode ser utilizado de diversas formas assim como suas cascas, entre elas a de antioxidante para o biodiesel de canola, assim, o objetivo deste trabalho, é a investigação da aplicação em biodiesel das cascas do *ASL* como agente antioxidante de modo a agregar valor a este resíduo agroindustrial.

## 2 | MATERIAIS E METÓDOS

Para a produção do biodiesel foi utilizada a metodologia proposta por Lee et. al (2010), por meio da reação de transesterificação usando metanol, na qual utilizou-se o óleo de canola comercial, empregando catalise básica utilizando hidróxido de potássio (KOH), como mostrado no fluxograma, Figura 1, o processo de produção do biodiesel.



Figura 1 – Fluxograma produção do biodiesel de canola adaptado de Boschen et al. 2019.

A fim de remover qualquer impureza ou contaminante do biodiesel, este foi lavado sequencialmente com água ultrapura, solução de ácido clorídrico (HCl) 0,5 % (v/v), solução saturada de cloreto de sódio (NaCl).

As cascas de alho foram doadas pelos supermercados da região Centro – Oeste do Paraná, por ser tratar de um resíduo este é comumente descartado por não apresentar nenhum valor agregado ao produto que é comercializado em supermercados.

As amostras foram levadas a um forno de matéria seca durante 6 horas a uma temperatura de 50 °C com a finalidade de retirar toda a umidade presente nas amostras evitando a proliferação de fungos e bactérias durante o armazenamento, posteriormente houve a moagem utilizando um mixer convencional a fim de obter uma granulometria menor, o armazenamento se deu em um recipiente plástico vedado. (BOSCHEN et al. 2019).

As cascas de alho passaram por dois processos de extração para a retirada do princípio antioxidante. Extração básica conforme mostrado na Figura 2, no fluxograma de extração básica.



Figura 2 – Fluxograma extração básica das cascas de alho Boschen 2016.

O resíduo e o metóxido de potássio são deixados em contato durante 30 minutos sob agitação magnética e posteriormente esta mistura é filtrada com auxílio de papel filtro e funil, a solução obtida através deste processo é utilizada na produção do biodiesel.

Extração acida é apresentada na Figura 3, fluxograma extração ácida das cascas de alho:

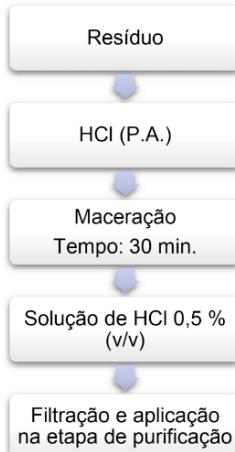


Figura 3 – Fluxograma extração acida das cascas de alho Boschen 2016.

As cascas de alho são colocadas em contato com HCl (P.A.) e maceradas durante 30 minutos, após este período o extrato é filtrado e utilizado para a preparação de uma solução de HCl 0,5 % (v/v) a qual é empregado na etapa de purificação do biodiesel.

Desta maneira foram preparadas três amostras de biodiesel, uma sem antioxidante e outras duas com a concentração de 13 g L<sup>-1</sup> de resíduo utilizando as rotas básica e ácida.

Os testes de estabilidade oxidativa foram realizados conforme as exigências da norma europeia, EN 14112, que utiliza o equipamento Rancimat®.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A planta herbácea bulbosa, o alho e as cascas de alho que foram utilizadas na extração:



Figura 4A – Herbácea bulbosa.

Fonte: JACINTO (2018)



Figura 4B – Alho.

Fonte: Autor (2020)



Figura 4C- Cascas de alho.

Fonte: Autor (2020)

Na Figura 4A está representada a planta herbácea bulbosa, que é caracterizada por folhas lineares, apresentando flores brancas ou até mesmo avermelhadas, sua altura pode chegar até 70 cm, o seu bolbo que se entra protegido no solo é composto por bolbilhos, que são popularmente conhecidos como dentes de alho (BOTAS, 2017). A Figura 4B mostra o fruto obtido logo após a colheita e a Figura 4C as cascas de alho retiradas do fruto.

Na Figura 5 é apresentada a extração das cascas de alho antes e após a filtração para posterior aplicação no processo de obtenção do biodiesel.



Figura 5A- Cascas de alho (extração).

Fonte: Autor (2020)



Figura 5B- Extrato de alho após filtração

Fonte: Autor (2020)

A Figura 6 mostra a extração ácida (HCl) e a solução ácida (solução de HCl) obtida após este processo:



Figura 6A – Resíduo em contato com o HCl.

Fonte: Autor (2020)



Figura 6B – Solução de HCl.

Fonte: Autor (2020)

Na Figura 7 é apresentado o biodiesel de canola pronto com aplicação do antioxidante no processo de obtenção do mesmo.



Figura 7 – Biodiesel de canola com adição de antioxidante.

Fonte: Autor (2020)

Os resultados das análises para as amostras de biodiesel analisadas com e sem a adição de antioxidantes são apresentados na Tabela 1.

Amostra	Concentração do Resíduo	Tempo de indução (h)
<b>Biodiesel sem adição de antioxidante</b>	-	6,50
<b>Biodiesel com extração ácida</b>	13 g L <sup>-1</sup>	10,02
<b>Biodiesel com extração básica</b>	13 g L <sup>-1</sup>	10,64

Tabela 1 – Resultados das amostras de óleo de canola com a adição de cascas de alho como antioxidante.

Nota-se que quanto maior o tempo de indução, maior será a resistência a oxidação, assim, observa-se um aumento de cerca de 3,52 horas para a extração ácida e 4,14 horas para a extração básica quando comparadas ao biodiesel sem nenhuma adição de antioxidante (B100), que apresenta um total de 6,5 horas. As metodologias abordadas neste trabalho demonstraram significativa contribuição para o aumento do tempo de indução do biodiesel de canola, evidenciando que ambas as rotas de extração utilizadas são apropriadas para a extração do antioxidante.

As medidas de condutividade *versus* tempo de indução do antioxidante são apresentadas na Figura 8.

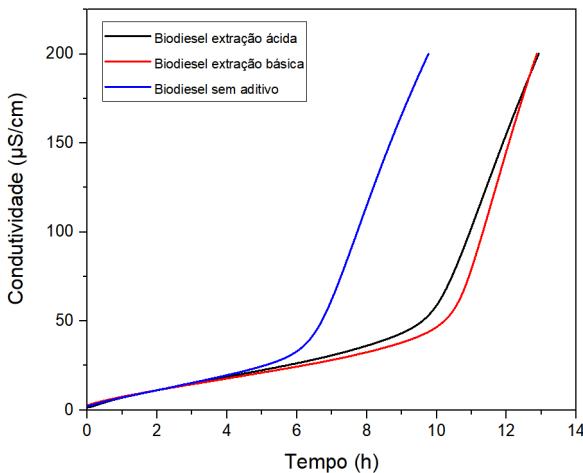


Figura 8: Tempo de indução do óleo de canola com a adição do antioxidante ASL com a concentração de  $13 \text{ g L}^{-1}$  com a rota de extração ácida básica, ácida e o biodiesel (B100) sem antioxidante.

Verifica-se na Figura 8 que a melhor rota para a extração do antioxidante, que demonstrou melhor resposta com relação ao tempo de indução, foi a básica, 10,64 horas. Quando comparado ao biodiesel de canola sem antioxidante (B100) que apresentou um tempo de 6,50 horas, desta forma demonstrando a capacidade antioxidante das cascas de alho.

Ainda com relação a Tabela 1, confirma-se que dentre as rotas de extração utilizadas, a básica se demonstrou mais eficiente quanto a capacidade de extração do antioxidante de interesse e posterior aplicação no biodiesel de canola. Além de atender à exigência da norma europeia, EN 14214, que prevê um tempo mínimo de 8 horas de resistência a oxidação acelerada, qualificando assim as cascas de alho como antioxidante satisfatório para aplicação em biodiesel, além de destinar um fim mais nobre e agregar valor a esse resíduo agroindustrial.

## 4 | CONCLUSÕES

O biodiesel de canola sem qualquer tipo de aditivo tem o seu tempo de indução de 6,50 horas. A realização da extração em meio básico se demonstrou eficaz para extrair o antioxidante das cascas de alho, na concentração de  $13 \text{ g L}^{-1}$ , qual resultou em um tempo de indução de 10,64 horas. Este resultado, atende a norma Europeia, EN 14214, que tem como padrão estabelecido 8 horas e demonstra o aumento da resistência à oxidação do biodiesel de canola em 64,2%, quando comparado ao biodiesel sem adição deste antioxidante. Dessa

forma, demonstrando a eficácia das cascas de alho, que se configura como resíduo industrial, como antioxidante promissor para biodiesel.

## REFERÊNCIAS

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Biodiesel. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel>>. Acesso em: 26/06/2020.

BORSATO, D.; ANTONIA, H.D.; GUEDES, C.L.B.; MAIA, E.C.R.; FREITAS, H.R.; MOREIRA, I.; SPACINO, K.R. Aplicação do delineamento simplex-centroide no estudo da cinética da oxidação de biodiesel B100 em misturas com antioxidantes sintéticos. **Química Nova**. v.33, N° 8, p. 1726-1731, 2010.

BOSCHEN, N.L. **Estudo da aplicação de antioxidante natural para biodiesel e óleo de soja**. 2016. 66 f. Dissertação (Mestrado na área de concentração físico-química) – Programa de pós graduação em Química, Universidade Estadual do Centro Oeste, Guarapuava – PR, 2016.

BOSCHEN, N.L.; VALENGA, M.G.P.; MAIA, G.A.R.; GALLINA, A.L.; RODRIGUES, P.R.P. Synergistic study of the antioxidant potential of barley waste for biodiesel. **Industrial Crops & Products**. v.140, p. 1-7, 2019.

BOTAS, J.C.S. **Caracterização química e propriedades bioativas de Allium sativum L. com diferentes proveniências e processamentos**. 2017. 60f. Dissertação (Mestre em Farmácia e Química de Produtos Naturais) - Instituto Politécnico de Bragança, Universidade de Salamanca. Bragança, 2017.

Cadernos NAE / Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. N° 2. Brasília. 2005.

Comitê Europeu de Normatização (EN). **EN14214**: Automotive fuels. Fatty Acid Esters (FAME) for diesel engines, requirements and test methods, 2019.

Comitê Europeu de Normatização (EN). Fat and Oil Derivatives - Fatty Acid Methyl Esters (FAME), *Determination of oxidation stability (accelerated oxidation test)*, Berlin, 2003.

DEL RÉ, P.V; JORGE, N. **Revista Bras. Pl. Med.** Botucatu, v.14, n.2, p. 389-399, 2012/abr. Revisão.

FERRARI; R.A.; SOUZA, W.L; Avaliação da estabilidade Oxidativa de biodiesel de óleo de girassol com antioxidantes. **Química Nova**. v.32, N° 1, p. 106-111, 2009.

FONSECA, G.M.; PASSOS, T.C.; NINAHUAMAN, M.F.M.L.; CAROCL, A.S.; COSTA, L.S. Avaliação da atividade antimicrobiana do alho (*Allium sativum Liliaceae*) e de seu extrato aquoso. **Revista Bras. Pl. Med.** Campinas, v.16, n.3, p. 679-684, 2014/abr.

FUZZATTI, S.C.; CRUZ, A.F.; GILENO, M.C. Pesquisa da atividade antioxidante do *Allium sativum L.* pelo ensaio químico de DPPH e ensaios EX VIVO com neutrófilos humanos. **Revista Brasileira Multidisciplinar – ReBrAM**. v.21, N° 1, p. 122-131, 2018.

JACINTO, V. Morfologia do Allium sativum. Disponível em: <https://naturdata.com/especie/Allium-sativum/5347/0/>. Fotografia. Acesso em: julho/2020.

KNOTHE, G.; GERPEN, J.V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P.; **Manual do biodiesel**. 1<sup>a</sup> Edição. São Paulo –SP. Editora Edgard Blucher LTDA, 2006.

LEE, S.B.; HAN, K.H; LEE, J.D.; HONG, I.K. Optimum process and energy density analysis of canola oil biodiesel synthesis. **Journal of industrial and engineering Chemistry**. v.16, p. 1006-1010, 2010.

Lima, R. K.; Cardoso, M. G. Família Lamiaceae: Importantes Óleos Essenciais com Ação Biológica e Antioxidante. **Revista Fitoterápicos: Estado da arte/ State of the Art**. v.3, N°3, p.14-24, 2007.

RAMOS, L.P.; KUCEK, K.T.; DOMINGOS, A.K.; WILHELM, H.M.; Biodiesel. **Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**. vº31, p. 28-37, 2003.

SUOTA, M.J.; SIMIONATTO, E.D.; SCHARF, D.R; MOTTA, V.; MOSER, D.; OLIVEIRA, L.B.; PEDROSO, L.R.M.; Jr , A.W; WIGGERS, V.R.; BOTTON, V.; MEIER, H.F. Avaliação das características de biodiesel de fontes alternativas submetidos a condições de armazenagem diferenciadas. **Química Nova**. Vol.41, N° 6, p. 648-655, 2018.

# CAPÍTULO 18

## USO DA TERRA DE MUCUGÊ E IBICOARA-BA MEDIANTE AVANÇO DA AGRICULTURA COM SENSORIAMENTO REMOTO

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 13/07/2020

### Luana Nascimento da Silva

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Cruz das Almas, Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/4702932543049309>

### Vanessa Santos da Palma

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Cruz das Almas, Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/3148424990307688>

### Luana da Silva Guedes

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Cruz das Almas, Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/0064942895892859>

### Everton Luiz Polkeing

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Cruz das Almas, Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/0442353211173400>

**RESUMO:** Este trabalho teve como objetivo avaliar as condições da vegetação nativa mediante o avanço da área de agricultura irrigada nos municípios de Mucugê e Ibicoara-BA. Os mapas foram processados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) com suporte do software ArcMap 10.3 e utilizando-se cenas do Landsat 5 TM e Landsat 8 TM. A área correspondente a vegetação arbórea reduziu pela metade, verificando-se 14,1% em 2000 e 7,15% em 2018, porém verificou-se um aumento do percentual de solo exposto associado ao

avanço da agricultura irrigada e um consequente crescimento na demanda por recursos hídricos na região.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vegetação, irrigação, barragem.

### USE OF THE LAND OF MUCUGÊ AND IBICOARA-BA WITH ADVANCEMENT OF AGRICULTURE WITH REMOTE SENSING

**ABSTRACT:** The objective of this work was to evaluate the native vegetation conditions through the advance of the irrigated agriculture area in the municipalities of Mucugê and Ibicoara-BA. The maps were processed in Geographic Information System (GIS) environment with ArcMap 10.3 software support and scenes from Landsat 5 TM and Landsat 8 TM. The corresponding area of tree vegetation was halved, with 14.1% in 2000 and 7.15% in 2018, but there was an increase in the percentage of exposed soil associated with the advance of irrigated agriculture and a consequent increase in the demand for water resources in the region.

**KEYWORDS:** Vegetation, irrigation, dam.

## 11 INTRODUÇÃO

A Barragem do Apertado está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu e foi construída nos anos de 1990, no entorno do Parque Nacional da Chapada Diamantina, contribuindo para o desenvolvimento de um Polo Agrícola Mucugê-Ibicoara. Entretanto, verifica-se uma pressão na utilização dos recursos hídricos, pois dentre as Bacias do estado baiano

a do Rio Paraguaçu é a que mais demanda disciplinamento do uso da água devido o avanço da agricultura irrigada (SOUZA, 2017). Apesar da barragem possuir uma capacidade de 108,89 hm<sup>3</sup> com uma vazão regularizada de 8,90 m<sup>3</sup>/s e um espelho d'água que apresenta cerca de 24 km de extensão (PEREIRA, 2008), é importante verificar a sustentação das atividades de irrigação e abastecimento da população local, no que tange os recursos hídricos. Os municípios de Mucugê e Ibicoara são os que mais produzem tomate na Bahia, encarregados por uma produção anual média de 71 mil toneladas (IBGE, 2012), o que representou em 2011, 1,6% da produção nacional e 21% da produção estadual. A maior parte do cultivo comercial da região está sob condições de irrigação. O principal sistema de irrigação utilizado é o do tipo pivô central, em que o potencial de irrigação da região é de 15 a 20 mil ha ano<sup>-1</sup> (BARBOSA, 2015). O objetivo do trabalho foi o avaliar as condições de vegetação nativa mediante o avanço da área de agricultura irrigada nos municípios de Mucugê e Ibicoara- BA, por meio da geração de mapas temáticos, técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento (SIG).

## 2 | METODOLOGIA

Para o recorte da área de interesse foi utilizado um shapefile do estado da Bahia disponível no site SEI (Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia). Os dados foram tratados e processados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) com suporte do software ArcMap 10.3. O polígono da área de contribuição da Barragem do Apertado foi adquirido por delimitação no ArcMap 10.3. Com este polígono (shapefile) realizou-se o recorte da área com a ferramenta spatial analyst tool do Arctoobox e realizou-se a adequação da legenda-classificação de algumas das características físico ambientais- evidenciando os diferentes tipos de Solos e Vegetação da referida área. Confeccionou-se os mapas da caracterização do solo da área com o auxílio de duas imagens do satélite Landsat 5 TM de junho de 1987 e 2000, e Landsat 8 TM de Junho de 2018, adquiridas no site do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). A classificação foi feita de acordo com áreas ocupadas por vegetação, solo exposto, sombra e afloramento rochoso e o cálculo destas áreas.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ano de 1987 havia um predomínio de vegetação nativa, com cerca de 49,9% (4.530.753 km<sup>2</sup>) da área total dos municípios de Ibicoara e Mucugê (Figura 1). A vegetação de porte arbóreo que de acordo com Leal et al. (2005) restringem-se as áreas com solos que são ricos em nutrientes, detém a segunda

maior porção de área com aproximadamente 18% (1.639.881 km<sup>2</sup>) de ocupação no município. Seguida por afloramento rochoso, com 11,03% (1.000.905 km<sup>2</sup>), que são característicos na região e em muitas localidades se sobressaem na vegetação de Caatinga. A existência de pivôs centrais é extremamente restrita na região devido à escassez hídrica. A figura 2 refere-se ao período após a instalação da Barragem do Apertado, no ano 2000. Segundo Souza (2017), a construção da Barragem do Apertado ampliou a área irrigada, favorecendo o desenvolvimento da economia local. O número de pivôs centrais aumentou tendo em vista a facilidade para a manutenção de culturas próximas a barragem. A vegetação Caatinga arbustiva da área de estudo aumentou para 58,2% (8.422.803 km<sup>2</sup>), isso deve-se ao fato de que as áreas de agricultura e pastagem avançaram consideravelmente nos últimos anos, e a classificação das áreas de pastagem, agricultura e caatinga de porte arbustiva culminaram em uma única classe, adentrando as áreas de caatinga arbórea que diminuiu consideravelmente para 14,1% no mapeamento de 2000. A figura 3 refere-se ao ano de 2018, na qual o destaque principal é a grande área de solo exposto, devido o avanço nas áreas para implantação de culturas com sistema de irrigação. Os pivôs centrais ocupam uma densa área nos municípios alvo do estudo (SOUZA, 2017), isso indica que há grande demanda de água para atender as necessidades hídricas de Mucugê e Ibicoara que possuem 471 e 206 pivôs centrais, respectivamente. No estudo realizado o solo exposto detém atualmente 51,1% da área, o equivalente a 9.656.694 km<sup>2</sup>. A vegetação arbustiva encontrada foi menor em relação aos anos anteriores com aproximadamente 40,5%, e a vegetação arbórea reduziu para metade se comparado ao ano de 2000, a um percentual de 7,15%.

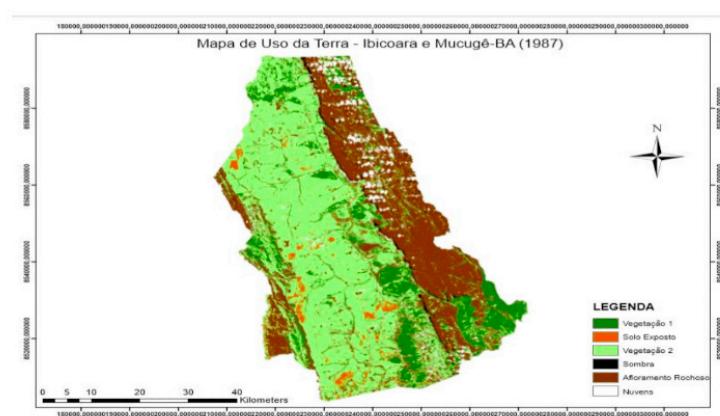


Figura 1: Mapa de classificação do uso da terra nas cidades de Ibicoara e Mucugê – BA, no ano de 1987.

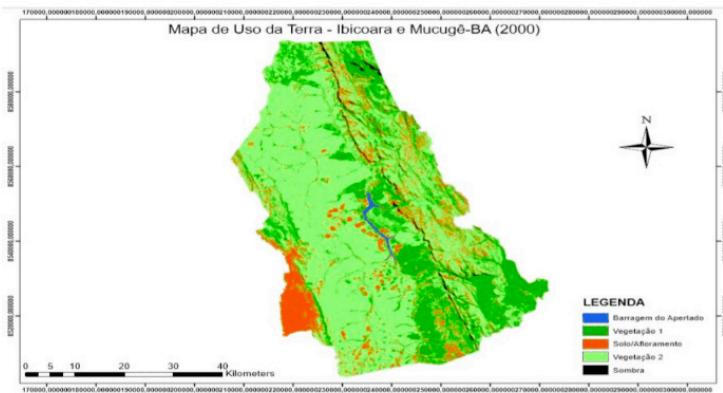


Figura 2: Mapa de classificação do uso da terra nas cidades de Ibicoara e Mucugê – BA, no ano de 2000.

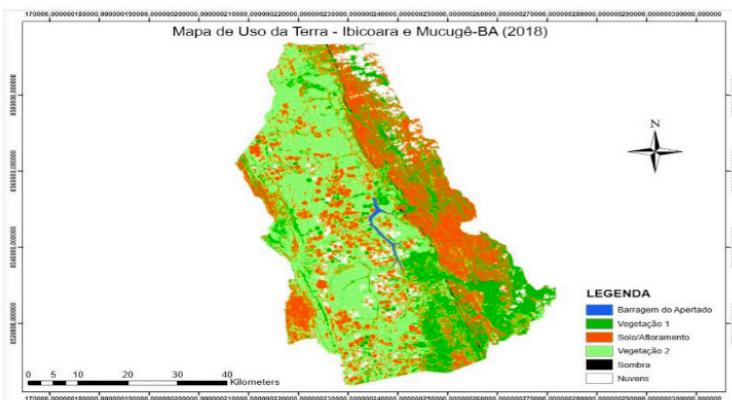


Figura 3: Mapa de classificação do uso da terra nas cidades de Ibicoara e Mucugê-BA, no ano de 2018

## 4 | CONCLUSÃO

Diante do exposto afirmamos que os mapas de classificação das imagens permitiram concluir que a área irrigada cresceu ao longo de trinta e um anos, principalmente devido o advento da instalação da Barragem do Apertado. O aumento no número de pivôs-centrais salienta a importância de avaliação referente ao uso consciente e racional de água, levando em consideração a incerteza do tempo e da capacidade da bacia do Rio Paraguaçu ofertar água para a barragem.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, M.A.G. **Viabilidade de investimento e análise de risco econômico em projetos de irrigação para produção de tomate no agropolo Ibicoara Mucugê.** 2015. 114f. Tese(Doutorado em Ciências Agrárias)- Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das almas, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE)- **Produção agrícola municipal.** 2012, Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/pesquisa/14/10193> Acessado em 11 de julho de 2020

LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; JUNIOR, T. E. L. Mudando o Curso Da Conservação da Biodiversidade na Caatinga no Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p.139-146, 2005.

PEREIRA, M.C.N. **Composição do comitê da bacia hidrográfica do rio Paraguaçu-Ba.: análise da origem geográfica e do setor econômico representado por seus membros como fatores intervenientes na gestão participativa de recursos hídricos.** 2008. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2008.

SOUZA, C.N. **Avaliação dos usos da água na barragem do apertado, Mucugê- BA.** 2017.51p.Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2017.

# CAPÍTULO 19

## DESAFIOS NA IMPLANTAÇÃO DAS BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO (BPFs) EM AGROINDÚSTRIAS FAMILIARES

Data de aceite: 01/10/2020

### **Rosângela Oliveira Soares**

Instituto Federal Farroupilha  
Campus Júlio de Castilhos  
Santa Maria, RS/Brasil

<https://orcid.org/0000-0003-2197-8932>

### **Fátima Regina Zan**

Instituto Federal Farroupilha  
Campus Santo Ângelo, RS/Brasil  
Santo Ângelo, RS/Brasil  
<https://orcid.org/0000-0002-8867-4856>

### **Manuel Luís Tibério**

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro  
CETRAD – UTAD  
Vila Real/Portugal  
<https://orcid.org/0000-0001-5489-7368>

### **Artur Fernando Arede Correia Cristovão**

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro  
CETRAD-UTAD  
Vila Real, Portugal  
<https://orcid.org/0000-0002-8501-5169>

### **Paulino Varela Tavares**

Instituto Federal Farroupilha  
Campus Júlio de Castilhos  
Santa Maria, RS/Brasil  
<https://orcid.org/0000-0003-0455-0547>

### **Dieter Rugged Siedenberg**

Universidade Regional do Noroeste do Estado  
de Rio Grande do Sul  
UNIJUI  
Ijuí, RS/Brasil  
<https://orcid.org/0000-0002-3303-1888>

**RESUMO:** O presente estudo versa sobre os desafios na implantação das boas práticas de fabricação (BPFs) em pequenas agroindústrias familiares em uma cidade da região central do Estado do Rio Grande do Sul. Analisar e descrever as razões que dificultam a implantação das BPFs junto às agroindústrias familiares municipais é o objetivo central. Foram visitadas dez unidades familiares, destas, cinco unidades estavam cadastradas no programa gaúcho de agroindústria e outras cinco não, caracterizando uma amostra não probabilística definida por critérios de acessibilidade e tipicidade. O diagnóstico das agroindústrias baseou-se na observação e entrevista com os proprietários das agroindústrias selecionadas, onde aplicou-se o *check list* de verificação, o qual está baseado na legislação das BPFs. Os resultados mostraram que, no município, nenhuma agroindústria familiar estava devidamente regularizada e apta a receber o Selo Sabor Gaúcho, assim como a falta de recursos para construção de instalações e equipamentos de custos elevados; a limitação na geração de novas práticas de transformação dos alimentos para agregação de valor, e a aplicação da mesma legislação existente para as grandes indústrias; e, por fim, a não consideração do conhecimento tácito do agricultor no processo de controle de qualidade. Os resultados apresentados e analisados poderão contribuir para a definição ou reformulação de atividades e políticas favoráveis ao melhoramento dos processos nas agroindústrias brasileiras.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agroindústrias familiares. Boas práticas de fabricação (BPFs). Alimentos. Segurança alimentar. Desafios.

## CHALLENGES IN IMPLEMENTING GOOD MANUFACTURING PRACTICES (GMPs) IN FAMILY AGROINDUSTRIES

**ABSTRACT:** The present study is about challenges in the implementation of good manufacturing practices (GMPs) in small family agroindustries in a city in the central region of the State of Rio Grande do Sul. The main objective is to analyze and describe the reasons that make it difficult to implement GMPs with county family agribusiness. Ten family units were visited, being that of these, five units were registered in the gaucho agribusiness program and five others were not, featuring a non-probabilistic sample defined by accessibility and typicality criteria. The diagnosis of the agro-industries was based on observation and interview with the owners of the selected agro-industries, where the verification checklist was applied, which is based on the GMPs legislation. The data showed that, in the county, no family agroindustry was properly regulated and able to receive the Gaucho Flavor Seal, as well as there was a lack of resources to build high-cost facilities and equipment; limitation in the generation of new practices of food processing for added value, and the application of the same existing legislation for large industries. Finally, the non-consideration of the farmer's tacit knowledge in the quality control process was noticed. The data presented and analyzed may contribute to the definition or reformulation of activities and policies favorable to the improvement of processes in Brazilian agro-industries.

**KEYWORDS:** Family agribusiness. Good manufacturing practices (GMPs). Foods. Food security. Challenges.

### 1 | INTRODUÇÃO

De acordo com a literatura (RENTING, MARSDEN e BANKS, 2003) há três tipos principais de cadeias agroalimentares curtas (*short food supply chains*): face a face; de proximidade espacial, e espacialmente estendida.

As redes face a face se aproximam do que comumente se chama de vendas diretas, como as feiras livres, vendas em domicílio, vendas na porta da propriedade, casas coloniais, rotas turísticas. No caso de Júlio de Castilhos/RS, podemos citar as casas coloniais no distrito de São João dos Melos, as feiras municipais e as vendas na propriedade. Estas, associadas ao parentesco, às relações de vizinhança e amizade. Este tipo de cadeia certamente representa uma importante estratégia dos agricultores familiares castilhenses.

O segundo tipo, o de proximidade espacial, relaciona-se a um saber fazer tradicional, associado ou não a algum atributo do local. O comércio se faz através de vendas a varejistas locais, restaurantes, vendas institucionais (escolas-Programa Mais Alimentos), rotas temáticas, eventos na comunidade, feiras e mercados regionais. A marca castilhense “Vitor e Nina” é um exemplo da cadeia alimentar emergente na região central do Rio Grande do Sul (RS).

O terceiro tipo de cadeias curtas, espacialmente estendidas, compreende

casos que envolvem *fair trade* e certificação de Indicação Geográfica. Este tipo de cadeia curta, no caso de agroindústria familiar, quase não é percebido no município analisado.

No entendimento de Mior (2005), a agroindústria familiar rural define “uma forma de organização em que a família rural produz, processa e/ou transforma parte de sua produção agrícola e/ou pecuária, visando, sobretudo, a produção de valor de troca que se realiza na comercialização”. A partir desta definição, o autor ainda sustenta que, “enquanto o processamento e a transformação de alimentos ocorrem geralmente na cozinha das agricultoras, a agroindústria familiar rural se constitui num novo espaço e num novo empreendimento social e econômico” (Mior, 2005, p. 191).

Zylbersztajn (2011, p. 18) vai de encontro com o pensamento anterior ao afirmar que “os agentes que atuam na fase de transformação do alimento são denominados por agroindústria. Esta pode ser de primeira transformação, que adiciona atributos ao produto, sem transformá-lo, ou de segunda, quando o produto de origem primária sofre modificação física”.

O incentivo à criação de agroindústrias através de políticas públicas por parte dos governos municipais, estaduais e federal, visando ao desenvolvimento regional, aparentemente, possibilita que estas sejam criadas e mantidas por produtores rurais juntamente com suas famílias, buscando, assim, a agregação de valor aos produtos da agricultura familiar.

Em função de incentivos governamentais surgiu a necessidade de um estudo mais específico junto aos agricultores familiares, que procuram comercializar seus produtos no meio urbano. O objetivo desse estudo busca captar a percepção dos empreendedores rurais sobre os motivos e razões que os levam a rejeitar a adoção do Programa de Boas Práticas de Fabricação (BPFs) em suas propriedades.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Agricultura Familiar

As pesquisas de Gazolla (2004) apontam que o conceito de agricultura familiar teve seu início, na sociedade brasileira, a partir de meados da década de 90 do século XX, através dos estudos de Schneider (2009). Este, por sua vez, situou o reconhecimento do termo “agricultura familiar” e dá três motivos para isso. O primeiro motivo é a própria pesquisa, desenvolvida por Abramovay (1998) e Veiga (1991), que deram *status* teórico e reconhecimento acadêmico ao termo como categoria analítica. No segundo, estão a pressão e as mobilizações das próprias representações sindicais e movimentos sociais no período. O terceiro

motivo decorre, em parte, dos outros dois, é o surgimento do programa Nacional do Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), em 1996, que deu caráter público ao termo dentro do Estado brasileiro.

De acordo com a Lei nº 11.326 de 24 de julho de 2006, Art. 3º, considera-se agricultor familiar e empreendedor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural. Zylbersztajn (2011. p 117) afirma que a característica dessa agricultura é a organização social familiar e comunitária, com base em formas tradicionais de cooperação. Muitas vezes, a renda monetária é excepcional e atrelada aos programas governamentais. Embora tradicionais, os agricultores nem sempre detêm plenos direitos de propriedade da terra.

O número de agricultores familiares no estado é de 86%; já, em Júlio de Castilhos, é de 65%, o que representa uma diferença de quase 20% a mais em estabelecimentos da agricultura familiar no Rio Grande do Sul. Também se observa que a área ocupada pelos agricultores familiares no município era superior à área ocupada no estado, numa média de 33% a mais (a cada 10.000m<sup>2</sup> de terra ocupada por agricultores familiares no RGS, em Júlio de Castilhos, o percentual sobe para 15.000m<sup>2</sup>). Nesse pressuposto, pode-se concluir que, em Júlio de Castilhos, a terra é mais produtiva, possibilitando, assim, maior desenvolvimento, especialmente através da agricultura familiar de pequeno porte.

Importante ressaltar que, no Censo de 2006, ainda não constava nenhum registro de agroindústria familiar no Município de Júlio de Castilhos.

Com o intuito de propiciar uma noção geográfica da distribuição dos estabelecimentos agropecuários de agricultura familiar no Rio Grande do Sul, a Figura 1 mostra um mapa ilustrativo com a respectiva distribuição.

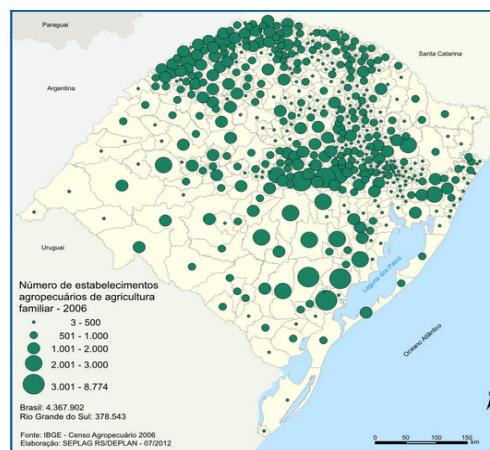


Figura 1 - Mapa do Rio Grande do Sul com estabelecimentos agropecuários de agricultura familiar

Fonte: SEPLAG RS - DEPLAN

Como se percebe na Figura 1, há maior concentração de agricultura familiar na região central do RS, bem como na costa do alto Uruguai do estado, onde há maior densidade de municípios.

Historicamente a agricultura familiar sempre esteve presente nos pequenos municípios, onde as atividades intensivas de mão de obra rural estavam relacionadas com a dimensão da propriedade, o relevo mais acidentado, entre outros.

## 2.2 Agroindústrias Familiares de Pequeno Porte

O IBGE (2006, p 31) define agroindústria familiar de pequeno porte:

Agroindústria rural se refere às atividades de transformação e beneficiamento de produtos agropecuários de origem animal ou vegetal, que foram realizadas em instalações próprias, comunitárias ou de terceiros, a partir de matéria-prima produzida no próprio estabelecimento agropecuário ou adquirida de outros produtores, desde que a destinação final do produto tivesse sido dada pelo produtor

A Lei nº 13.921, de 17 de janeiro de 2012, no art. 2º, parágrafo II, caracteriza como **agroindústrias familiares de pequeno porte de processamento artesanal** os estabelecimentos agroindustriais com pequena escala de produção dirigidos diretamente por agricultor(es) familiar(es) com meios de produção próprios ou mediante contrato de parceria, cuja produção abranja desde o preparo da matéria-prima até o acabamento do produto, seja realizada com o trabalho predominantemente manual e que agregue aos produtos características peculiares, por processos de transformação diferenciados que lhes confiram identidade, geralmente relacionados a aspectos geográficos e histórico-culturais locais ou regionais.

Nesse sentido, supõe-se que a agroindustrialização de pequeno porte é uma alternativa efetiva para o desenvolvimento da agricultura familiar, devido à sua alta capacidade de agregação de valor à produção agropecuária, por gerar emprego e renda suficientes para garantia e reprodução social dos agricultores, bem como ser uma alternativa para o desenvolvimento local, pela sua capacidade de gerar efeitos sobre a economia local por meio das relações multilaterais que se estabelecem ao longo da cadeia produtiva (BRUM, 2012).

## 2.3 Boas Práticas de Fabricação (BPFs)

A agroindustrialização exige sistemas de segurança alimentar que são programas destinados ao controle sanitário, e ajudam a produzir alimentos que não causem risco à saúde dos consumidores. Assim, regras para manuseio de insumos, produtos acabados, cuidados com higiene ambiental, higiene pessoal, controle de pragas (BPFs), aliadas ao controle de agentes físicos (objetos estranhos ao alimento), químicos (solventes, desinfetantes) e biológicos (microrganismos,

toxinas), análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC) são ferramentas úteis à produção de alimentos sadios (PEÑA, 2005).

Batalha (2008) destaca a necessidade de os colaboradores terem conhecimento e treinamento das BPFs, para que saibam pô-las em prática no momento certo. O autor destaca que para o programa de BPFs ter efetividade, devem-se observar os seguintes elementos: pessoal, edifícios e instalações; produção; equipamentos e utensílios; limpeza e sanitização; codificação; armazenagem e distribuição; controle de pragas (BATALHA, 2008, p. 545).

Logo, o objetivo das BPFs é estabelecer um sistema composto de normas e padrões para alcançar a higiene pessoal, a sanitização e controles aplicados aos processos e produtos, dessa forma, assegurando que os produtos cheguem ao consumidor com qualidade e livres de contaminações. O programa de Boas Práticas é específico para cada Unidades de Produção Familiar (UPF), de acordo com as características individuais, e deverá permanecer à disposição no local quando da inspeção dos órgãos competentes e necessidade de consulta por parte de todos da equipe.

### 3 | METODOLOGIA

Tomou-se como base a taxionomia apresentada por Vergara (2010), que a classifica a pesquisa em relação a dois aspectos: quanto aos fins e quanto aos meios. Quanto aos fins, a pesquisa foi exploratória e descritiva. Quanto aos meios, a pesquisa foi de campo, documental, bibliográfica e estudo de casos.

Após reconhecimento preliminar sobre a situação das agroindústrias do município, convencionou-se definir para o estudo as agroindústrias que (no momento da coleta) estavam cadastradas no Programa da Agroindústria Familiar do estado. Na fase exploratória da pesquisa, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre aspectos técnicos, teóricos e legais da produção agroindustrial, dentre estes: sistema agroindustrial, qualidade alimentar, boas práticas de fabricação e implicações das agroindústrias sobre o desenvolvimento local.

O diagnóstico das agroindústrias foi feito de outubro a dezembro de 2013, por meio de observação e entrevista com os proprietários das dez agroindústrias selecionadas. Depois foi aplicado o *check list* de verificação, o qual está baseado na legislação de BPFs (BRASIL, 2002a), para verificar todos os aspectos necessários à manutenção da qualidade e segurança do produto.

### 4 | AGROINDÚSTRIAS EM JÚLIO DE CASTILHOS: ANÁLISES E DISCUSSÕES

O município da pesquisa integra o COREDE Central do Estado e faz divisa

com outros 13 municípios (Santa Maria, Silveira Martins, Ivorá, Nova Palma, Pinhal Grande, Estrela Velha, Salto do Jacuí, Fortaleza dos Valos, Boa Vista do Incra, Tupanciretã, Quevedos, São Martinho da Serra e Itaara).

A população, em 2010, era de 19.579 habitantes no município, e somente 17,7% da mesma residia na zona rural. A estrutura econômica é predominantemente agropecuária, com ênfase na criação de gado de corte e cultivo de soja (IBGE, 2010). No meio rural, existiam aproximadamente 1.400 propriedades, isto é, propriedades de até 50 hectares, sendo 979 unidades de produção familiar (Tabela 1).

Condição do produtor	Número de estabelecimentos agropecuários (Unidades)			Número de estabelecimentos agropecuários (Percentual)		
	Total	Não familiar	Agricultura familiar	Total	Não familiar	Agricultura familiar
<b>Total</b>	979	339	640	100	34,63	65,37
Proprietário	654	299	355	66,8	30,54	36,26
Assentado sem titulação definitiva	233	-	233	23,8	-	23,8
Arrendatário	70	34	36	7,15	3,47	3,68
Parceiro	6	4	2	0,61	0,41	0,2
Ocupante	12	1	11	1,23	0,1	1,12
Produtor sem área	4	1	3	0,41	0,1	0,31

Tabela 1 - Número de estabelecimentos e área dos estabelecimentos agropecuários, por condição do produtor em relação às terras e agricultura familiar em Júlio de Castilhos, 2006.

Fonte: IBGE - Censo Agropecuário, 2006.

A Tabela 1 indica que 65% dos estabelecimentos agropecuários eram constituídos por agricultura familiar e especifica ainda outras relações. Agricultores familiares locais manipulavam seus produtos e levavam para comercializar na cidade, expondo seus produtos na Feira do Produtor.

A agroindustrialização no município, especialmente no foco deste trabalho, pequenas agroindústrias familiares, era bastante incipiente. Oficialmente, existia apenas uma agroindústria cadastrada e habilitada a vender sua produção fora do município e apta a participar do programa de merenda escolar. As demais estavam cadastradas no Programa Gaúcho de Agroindústria Familiar, porém, havia limitações técnicas, estruturais, burocráticas e a não realização do curso de BPFs para estarem aptas a receber o selo 'Sabor Gaúcho'.

Os principais produtos fabricados pelas agroindústrias pesquisadas pertenciam ao ramo de panificação, tais como pães, cucas, bolachas. Também se destacavam na produção de doces, chimias e geleias. A mandioca era vendida descascada e embalada, assim como o feijão, que era ofertado para os clientes escolhido e embalado.

No contexto dos estabelecimentos visitados, pôde-se perceber que, na grande maioria, somente o casal residia no estabelecimento. No geral, quem executava o trabalho de manipulação dos alimentos era a mulher, na maioria das vezes, sozinha. No entanto, o marido participava do plantio e colheita dos produtos que eram utilizados para a manipulação na agroindústria.

Na cidade, existem duas Feiras de Produtores. A primeira feira existe há quase três décadas, localizada na Rua Coberta da cidade. Na época desta pesquisa, oito famílias ofertavam seus produtos, todas as sextas-feiras do mês, na Rua Coberta. A outra, a Feira da Produção da Reforma Agrária da Agricultura Familiar – (FEPRAF), foi inaugurada em 2013 e está localizada na Praça Manuel Alvarenga. Esta feira acontecia todos os sábados, reunindo 18 famílias, das quais, 16 famílias residiam em assentamentos da reforma agrária: Alvorada, Santa Júlia e Fazenda do Sobrado. Comercializavam pães, cucas, doces, compotas, frutas, verduras, peixes e derivados, ovos, farinha de milho, canjica, entre outros produtos. Os feirantes faziam um rodízio de participação na feira, ou seja, num sábado, participavam algumas, no outro sábado, outras famílias. A infraestrutura desta feira contava com um *Kit Feira* originário de um repasse do projeto Feiras de Abastecimento Popular da Reforma Agrária – desenvolvido pelo Incra/RS.

As entrevistas com os agricultores familiares do município mostraram que o convívio com o plantio da propriedade ou da horta remonta aos tempos em que moravam na propriedade de seus pais. Dessa forma, a reprodução familiar baseada na agricultura familiar foi, pouco a pouco, formando um estilo de vida ao longo das gerações. A escolha em continuar com o cultivo da terra é tratada, na maioria das vezes, como algo herdado e natural.

As agroindústrias visitadas estão situadas em diferentes pontos do município, o que corrobora a ideia de desenvolvimento, uma vez que essas unidades familiares anseia por aperfeiçoar sua produção, adotando boas práticas de fabricação, maior cuidado com as edificações e instalações e com os equipamentos, móveis e utensílios, para que tenham um melhor controle com os manipuladores dos alimentos no que refere a vestuário, hábitos higiênicos, utilização de equipamentos de proteção individual (EPIs), maior controle no fluxo da produção, na qualidade do produto final e no transporte do produto final. Ou seja, quando o agricultor decide aplicar o manual de BPFs e os Procedimento Operacional Padrão (POPs) poderá fabricar um produto de melhor qualidade e, assim, terá mais possibilidade de

melhorar o seu estabelecimento e seu entorno.

Na realidade das agroindústrias de Júlio de Castilhos, inicialmente foi aplicado o *check list* nas UPFs para avaliar as conformidades ou não do estabelecimento. Fez-se um relatório, contendo um parecer das condições encontradas.

No entanto, após análise e diagnóstico das pequenas agroindústrias observadas em Júlio de Castilhos/RS, percebeu-se a necessidade de adequação da Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 275, por parte do legislativo, para a realidade das pequenas unidades familiares, devido a grande parte dos itens da resolução não se aplicarem à realidade das pequenas agroindústrias.

#### **4.1 Conhecimento sobre BPFs**

Através dos depoimentos, bem como através da visita que se fez *in loco*, sobre o conhecimento das BPFs, percebeu-se que as pessoas que transformavam os alimentos nas agroindústrias apresentavam algum conhecimento sobre como manipular os produtos. Cultivavam aquele conhecimento empírico, de geração após geração.

Das agroindústrias entrevistadas, algumas relataram interesse em fazer adequações no espaço destinado para produção, especialmente na aquisição de maquinários industriais para contribuir na produção, porém, aconteciam empecilhos para realizarem as adequações.

Ao indagar aos agricultores quanto ao seu conhecimento sobre a existência de linhas de crédito disponíveis, do governo estadual ou federal, para incentivar os pequenos agricultores ao cultivo e transformação de suas plantações, as respostas apontaram que quase a totalidade dos entrevistados tinha conhecimento dessas linhas de créditos. No entanto, a grande maioria deles relatou optar por não pedir empréstimos em bancos. Falavam que construíam conforme podiam, ou seja, de acordo com o rendimento das vendas.

O Estado oferecia incentivo aos agricultores para fortalecer, ampliar ou mesmo iniciar sua produção agroindustrial. Por exemplo, na esfera regional, era o desenvolvimento das pequenas agroindústrias através do cooperativismo nos municípios coordenados pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER) de Santa Maria, onde Júlio de Castilhos estava inserido.

Na esfera estadual, as agroindústrias familiares recebiam incentivo através da adesão ao Selo Sabor Gaúcho (Decreto Estadual nº 49.341, de 5 de julho de 2012), do Sistema Unificado de Sanidade Agroindustrial Familiar, Artesanal e de Pequeno Porte (SUSAF- RS), entre outros. O SUSAF foi aprovado pela Lei nº. 13.825 de 4 de novembro de 2011. O primeiro município no estado a aderir ao programa foi São José do Sul/RS.

Na esfera federal, os incentivos às agroindústrias ocorriam através do

Sistema Brasileiro de Inspeção de Produtos de Origem Animal (SISBI-POA). Este sistema foi trabalhado na Quarta Colônia, região de abrangência da Emater Santa Maria, onde também se enquadra o Município de Júlio de Castilhos, que faz parte do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA), padronizava e harmonizava os procedimentos de inspeção de produtos de origem animal para garantir a inocuidade e segurança alimentar. A agroindústria que tivesse equivalência podia vender o seu produto em todo o território nacional.

## 5 | CONSIDERAÇÕES

Na contextualização deste estudo, constatou-se que em torno de 11% da população rural produziam bens de consumo (alimentos) para 89% da população local. A produção oriunda da agricultura familiar caracterizava-se por um sistema de produção artesanal, comercializada semanalmente nas feiras municipais.

O cultivo diversificado nas pequenas propriedades se dava com base em hortaliças e vegetais, grãos, farinha de milho, mandioca, cana de açúcar, bem como na produção de leite e derivados de carne. Destes produtos, agregados a outros, originavam-se pães, doces, cucas, bolachas, iogurte, rapaduras, farinhas, salames, entre outros, evidenciando a produção de um largo leque de alimentos oriundos da agroindústria familiar.

Apesar de elas não estarem devidamente regularizadas, necessitavam de maior acompanhamento técnico, orientado para a linha de produção com maior detalhamento em cada atividade executada.

Os desafios pelos quais os agricultores familiares não se adequavam à normativa de BPFs eram: a) a falta de perspectiva de continuidade do negócio pelo motivo de os agricultores estarem em idade avançada; b) os custos bastante altos para investimento e adequação da agroindústria às normativas legais; c) as complicações burocráticas em relação às quais o agricultor não tinha conhecimento, nem sequer tempo para organizar a papelada exigida na formalização da agroindústria; d) a relação custo benefício também foi um fator de desmotivação para os agricultores devido ao alto valor investido e demora no retorno do investimento.

Devido ao fato de que, na maioria dos casos, o agricultor familiar é o mesmo executor das atividades na propriedade rural, este dedica mais tempo (escasso, muitas vezes) ao que é mais urgente. A gestão da propriedade e consequente agroindústria nunca é reconhecida como urgente. Situação que se aponta como um dos gargalos pelos quais o agricultor familiar não se adapta às boas práticas de fabricação, ou seja, o agricultor não tem tempo nem mão de obra disponível para atender à burocracia demandada em uma organização.

No ambiente organizacional, pode ser fomentado o desenvolvimento, através

da parceria com instituições de pesquisa (IF Farroupilha) e outras públicas (Emater-Ascar), ou privadas (Sindicatos) que trabalhem na produção do agronegócio de forma isolada.

Os resultados apresentados e analisados neste artigo servem de referência para a continuidade de pesquisas na área e, assim, poderão contribuir para a definição ou reformulação de atividades e políticas favoráveis ao melhoramento dos processos nas agroindústrias brasileiras.

## AGRADECIMENTOS

Aos agricultores e às agricultoras e a todos e todas que se envolveram nas etapas da pesquisa para a construção da dissertação de Mestrado em Desenvolvimento do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Desenvolvimento, área de concentração Gestão Empresarial, da UNIJUÍ/RS, defendido em abril/2014. Extrato apresentado no 8th *International Symposium on Technological Innovation* da UFS.

## REFERÊNCIAS

ABRAMOVAY, R. **Paradigmas do capitalismo agrário em questão**. Campinas. São Paulo: Hucitec, 2. ed. 1998.

BATALHA, M. O. (Org.) *et al.* **Gestão agroindustrial: GEPAI**: Grupo de estudos e pesquisas agroindustriais. 3. ed. 2. reimpressão. São Paulo: Atlas, 2008.

ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada nº 275, de 21 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados aplicados aos Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação em Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. nº 215, 6 nov. 2002. Seção 1, p. 55. Disponível em: <<https://bit.ly/31LZ8X4>>. Acesso em: 22. jul. 2014.

BRASIL. Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 jul. 2006. Disponível em <<https://bit.ly/2QMueXX>>. Acesso em: 30 dez. 2014.

BRUM, Argemiro Luiz (Org.) *et al.* **Cadeias produtivas e o desenvolvimento endógeno: casos do noroeste gaúcho**. Ijuí: Ed. Unijuí. 2012.

EMATER-ASCAR. **Relatório Anual** - Atividades municipal Escritório Emater de Júlio de Castilhos. dez. 2012.

GAZOLLA, M. **Agricultura familiar, segurança alimentar e políticas públicas**: uma análise a partir da produção para autoconsumo no território do alto Uruguai/RS. 2004. 306f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 2004.

RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 13.921, de 17 de janeiro de 2012, que Institui a Política Estadual de Agroindústria Familiar no Estado do Rio Grande do Sul. **DOE** n. 013, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 18 de janeiro de 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário de 2006**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 13 jan. 2014.

MIOR, Luiz Carlos. **Agricultores Familiares, Agroindústrias e Redes de Desenvolvimento Rural**. Chapecó: Argos, 2005.

PEÑA, Carlos Vladimiro Málaga. Procedimentos operacionais padronizados na gestão pela qualidade. 2005. Disponível em <https://bit.ly/31MgsLo>. Acesso em 22 abr.2013.

RENTING, H.; MARSDEN, T.; BANKS, J. Understanding alternative food networks: exploring the role of short food supply chains in rural development. **Environment and Planning**. v. 35, p. 393-410, 2003.

SCARABELOT, M.; SCHNEIDER, S. As cadeias agroalimentares curtas e desenvolvimento local - Um estudo de caso no município de Nova Veneza/SC. **Revista Faz Ciência**. Unioeste. v. 14. n 19. p. 101-130. Jan/jun, 2012.

SCHNEIDER, S. Agricultura familiar e desenvolvimento rural endógeno: elementos teóricos e um estudo de caso. In: Froehlich, J. M.; Diesel, V. (Org.). **Desenvolvimento Rural: Tendências e debates contemporâneos**. Ijuí: Unijuí, 2009.

VEIGA, J. E da. **O desenvolvimento agrícola**: uma visão histórica. São Paulo-SP: Hucitec, Editora da Universidade de São Paulo, 1991.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2010.

ZYLBERSZTAJN, D. Conceitos gerais, evolução e apresentação do sistema agroindustrial. In: ZYLBERSZTAJN, D.; NEVES, M. F. (Orgs.) **Economia e gestão dos negócios agroalimentares**: indústria de alimentos, indústria de insumos, produção agropecuária, distribuição. São Paulo: Pioneira: Pensa/USP, 2000. 428

\_\_\_\_\_, D. **Caminhos da agricultura brasileira**. São Paulo: Atlas, 2011. xvi, 124.

# CAPÍTULO 20

## O RECORTE DA TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA AGRIBIOTECNOLÓGICA NO BRASIL E NO MUNDO NOS ÚLTIMOS 30 ANOS

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão 14/07/2020

**Djeimella Ferreira de Souza**

Universidade Federal de Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/0228109784526073>

**Anna Flavia Moreira Martins de Almeida Pereira**

Universidade Federal de Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/3892002962185409>

**Rubén Dario Sinisterra Millán**

Universidade Federal de Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/0569614713880200>

**RESUMO:** Os avanços tecnológicos principalmente na área de biotecnologia trouxeram diversas mudanças possibilitando aumento da produtividade/menor custo de produção e também segurança alimentar mundial. Neste estudo, tem intuito de caracterizar o desenvolvimento tecnológico em biotecnologia do Brasil, sintetizando as diferenças entre os continentes e identificados os principais países que tem desenvolvido novas espécies de plantas vegetais com intuito de melhorar a produtividade do agronegócio. Realizou-se pesquisa no sistema *Thomson Innovation*, com patentes relacionadas a novas espécies vegetais, depositadas com data de prioridade entre 1987 a 2016. Os resultados encontrados demonstraram que o Brasil mesmo com avanços no setor do agronegócio ainda tem pouca representatividade no desenvolvimento

e disseminação de tecnologias, com forte dependência do mercado externo. Já os Estados Unidos, com competência em introduzir e exportar novas tecnologias. A China e Japão apareceram com crescimento em novas tecnologias, porém pouco expressivo em disseminar as tecnologias para outros países.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agronegócio; Biotecnologia; Patentes.

### THE AGRIBUSSINESS AND BIOTECHNOLOGY TECHNOLOGICAL TRAJECTORY IN BRAZIL AND THE WORLD IN THE LAST 30 YEARS

**ABSTRACT:** Technological advances, mainly in the area of biotechnology, have brought about several changes, allowing an increase in production / lower cost of production and also world food security. In this study, it aims to characterize the technological development of biotechnology in Brazil, synthesizing the differences between the continents and identifying the main countries that have developed new plant species with the aim of improving agribusiness productivity. A research without Thomson Innovation system was carried out, with patents related to new plant species, deposited with priority data between 1987 and 2016. The results found demonstrate that Brazil, even with advances in the agribusiness sector, still has little representativeness without development and dissemination of technologies, with strong dependence on the foreign market, and United States, with competence to introduce and export new technologies. One China and Japan, instead of technologies expressed in

technologies such as for developing countries.

**KEYWORDS:** Agribusiness; Biotechnology, Patent.

## 1 | INTRODUÇÃO

O termo conhecido como *agribusiness*, em português agronegócio, surgiu na Universidade de Harvard, EUA, em 1957, através dos pesquisadores John Davis e Ray Goldberg atribuíram ao “business” o sentido de “ocupação” e não de “negócio” propriamente dito.

Segundo Davis e Goldberg (1957) a definição de agronegócio significa a soma das operações de produção e distribuição de suprimentos agrícolas, das operações de produção nas unidades agrícolas, do armazenamento, processamento e comercialização dos produtos agrícolas e itens produzidos a partir deles. A qual envolve desde a pesquisa científica até a comercialização de alimentos, fibras e energia.

A agricultura mundial passou, a partir da segunda guerra mundial, por uma série de transformações decorrentes do processo de modernização, conhecida como Revolução Verde em que permitiram o aumento da produtividade.

Os principais países produtores Estados Unidos, Brasil, China, Canadá, Argentina, Índia, Indonésia, Austrália, Tailândia, Malásia. Segundo OCDE, “houve uma mudança nas vantagens comparativas em favor do Brasil, que teve um custo de produção baixo para vários produtos nesse período graças aos seus recursos naturais e ao câmbio”.

O Brasil, atualmente é considerado um país agroexportador com eficiência produtiva em larga escala e um dos países com capacidade de alimentar a sociedade global. Isto foi possível devido o engajamento dos atores da sociedade em promover a ciência e tecnologia na agricultura, transformando o que antes era uma economia extrativista em um país com base tecnológica própria, técnica e sofisticada.

Objetivo da pesquisa é objetiva caracterizar o desenvolvimento tecnológico em biotecnologia do Brasil, voltado para suprir as demandas do agronegócio. Sintetizando as diferenças entre os continentes e identificados os principais países que tem desenvolvido novas espécies de plantas vegetais com intuito de melhorar a produtividade do agronegócio. Para isto, foi realizada pesquisa no sistema *Thomson Innovation*, com patentes identificadas no Sistema de Classificação de Patentes de Produto relacionadas a novas espécies vegetais, depositadas com data de prioridade entre 1987 a 2016. Estas patentes foram estratificadas por período, país e continente de origem e de depósito, e comparados os resultados dos dados entre continentes em três períodos: 1987-1996, 1997-2006 e 2007- 2016.

O estudo dividi-se em cinco partes, sendo a primeira introdutória com

uma visão holística sobre a temática a ser discutida, a segunda é construída pela revisão teórica abordando os aspectos da biotecnologia no agronegócio, ciência e tecnologia. A terceira parte descreve os procedimentos metodológicos, na quarta, são apresentados os resultados obtidos por meio da pesquisa aplicada no banco de patentes da *Thomson Innovation*. Por fim, as considerações finais do estudo.

## 2 | CIÊNCIA E TECNOLOGIA NO AGRONEGÓCIO

No mundo contemporâneo, mais do que em outros anos, a produção de riquezas está ligada à capacidade intrinsecamente ao aparato científico e tecnológico. A inovação, qualidade e competitividade tornaram-se condições chaves para produção de bens e produtos de alto valor agregado, um requisito de participação e sobrevivência das nações em desenvolvimento, dentro do mercado cada dia mais globalizado e concentrador, motivando assim políticas de vários países em priorizar investimentos em ciência e tecnologia (CALDAS et al, 1998).

### 2.1 Agronegócio

O agronegócio é considerado toda atividade que envolve os negócios da agricultura de dentro da porteira para fora da porteira, ou seja, tudo aquilo que fez parte da geração do produto advindo do campo.

Para o agronegócio se tornar a atividade econômica dominante no Brasil, após a crise mundial de 2008, tem sido atividade chave que sustenta a balança comercial do país. Para tal feito, houve investimento maciço no setor para romper os paradigmas tecnológicos, de acordo com Dosi (1988), estes paradigmas tecnológicos representam os programas de pesquisas tecnológicas que buscam solucionar os problemas tecnológicos selecionados e/ou predeterminados.

De acordo com Possas et al. (1994), a interpretação dessas trajetórias das rupturas de paradigmas tecnológicos na agricultura, tiveram que ultrapassar barreiras específicas com características capazes de afetar a dinâmica deste mercado, como por exemplo, os fatores naturais e climáticos, entre outras inúmeras dinâmica existentes.

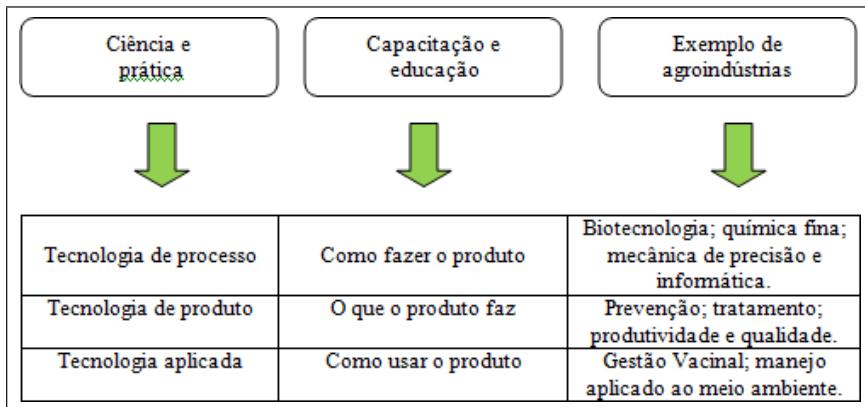


Figura 1 – Gestão tecnológica no agronegócio

Fonte: adaptado Caldas (1998).

A gestão tecnológica do agronegócio é complexa, isto porque a agricultura moderna envolve indústrias ligadas a diversos setores como químicos, de pesticidas, farmacêuticas, de sementes, maquinários, tratores e ferramentas mecânicas, alimentos, mas também as instituições de educação e pesquisa pública, organizações produtoras, bem como fundações de pesquisa pública e privada.

Além disso, não há uma situação permanente que responda como uma trajetória tecnológica geral, em que uma situação tecnológica e competitiva homogênea pudesse ser encontrada. O conceito de trajetória tecnológica não pode ser estabelecido como um amplo conceito setorial, mas relacionado a específicas tendências dinâmicas competitivas de mercados. As trajetórias de indústrias relacionadas à agricultura deveriam ser consideradas em suas inter-relações com os mercados agrícolas (ZUIN e QUEIROZ, 2006).

### 2.1.1 *Agronegócio no Brasil*

A agricultura brasileira vem passando por diversas transformações estruturais desde a década de 1960. A revolução verde no Brasil esteve associada a um conjunto de fatores, os quais influenciaram na construção de um ambiente institucional favorável à inovação e à adaptação de tecnologia.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) foi criada nesse contexto na década de 1970. Com objetivo de promover pesquisas de melhoramento genético para adaptar a produção ao clima tropical, bem como para ampliar a produtividade das pastagens. A expansão da fronteira agrícola, a partir de 1970, observou duas ondas de crescimento bem específicas, embora períodos acentuados de expansão também tenham ocorrido no passado (IPEA, 2016).

Uma dessas ondas foi observada na década de 1980 com a tropicalização de diversos cultivos ao bioma do Cerrado; e a outra, nos últimos quinze anos, com o desenvolvimento de sementes melhoradas que integram ciclos produtivos mais curtos, possibilitando o aumento produtivo da safra em várias regiões. A biotecnologia é, portanto, essencial dentro desse processo, que busca maior produção com utilização mais eficiente dos recursos naturais (IPEA, 2016).

As projeções de 2015/16 foram de 196.486 para 2025/26 são de uma safra de grãos por volta de 255,3 milhões de toneladas, e corresponde a um acréscimo de 29,9% sobre a atual safra que está estimada em 196,5 milhões de toneladas, acréscimo este que corresponde a 2,5% ao ano (MAPA, 2016).

### 3 I BIOTECNOLOGIA E PATENTES

As diversas mudanças na agricultura motivadas pela inovação tecnológica, acerca de culturas para plantio, fungicidas e pesticidas e segurança alimentar sem degradar o meio ambiente, tornou-se um desafio ainda mais complexo para os países agrícola.

A biotecnologia vem promovendo ser um caminho para a solução para estes desafios. A biotecnologia proporcionou uma revolução na agricultura, isto porque “a biotecnologia possibilita melhorias que não são possíveis com o cruzamento tradicional de espécies relacionadas sozinhas”. Essas melhorias são em áreas como: Pesticidas resistentes; Herbicidas tolerantes; resistência a doença; tolerância ao frio, a seca, a salinidade; nutrição e na área farmacêutica (WHITMAN, 2000).

Segundo a *U.S Agency for International Development, agricultural Biotechnology Support Project II* e o *Program for Biosafety Systems (2004)*, “A biotecnologia agrícola é um conjunto de técnicas científicas utilizadas para melhorar plantas, animais e microorganismo. Com base em um entendimento do DNA, os cientistas desenvolveram soluções para aumentar a produtividade agrícola”. Essas culturas de genes modificados são distribuídas nos países conforme aponta o Serviço Internacional para Aquisição de aplicações em Agrobiotecnologia (2011) na figura 2.

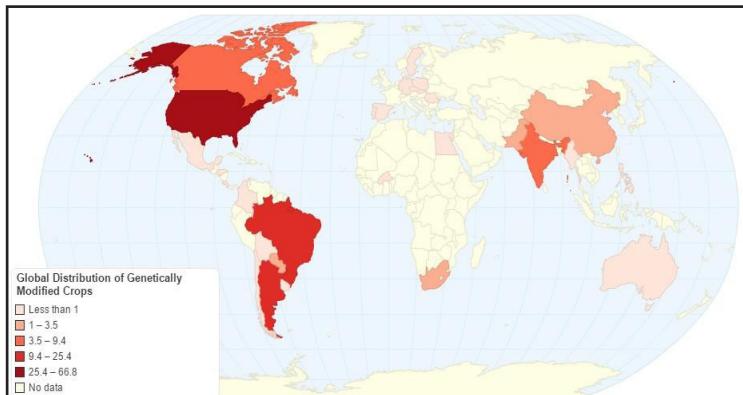


Figura 2 – Distribuição global de culturas geneticamente modificada em 2010

Fonte: Chartsbin (2011)

Os números apontam o Brasil com um dos principais países a utilizarem a cultura de genes modificado devido à produção em larga escala. As grandes maiorias das organizações detentoras protegem as pesquisas através do sistema de proteção de patentes.

O sistema proteção de patente confere o registro de patente de invenção (novidade; atividade inventiva e aplicação industrial) e modelo de utilidade (melhora o uso ou utilidade dos produtos) assim o prazo de exploração da primeira é de 20 anos (a partir do depósito) ou 10 anos (a partir da concessão), e a segunda o prazo é de 15 anos (depósito) e 7 anos (concessão) (FERREIRA et al. 2009).

Assim o registro da patente é considerado um instrumento bibliográfico para descobrir o desempenho inovador das empresas, universidades, centros de pesquisas, etc. Schiling (2013) aponta à patente como sendo um indicador de inovação, pois estimula a pesquisa e desenvolvimento, e por muitos países serve para avaliar o nível de atividade inventiva.

## 4 | PROCEDIMENTOS MEDOLÓGICOS

Nesta seção, trata-se dos procedimentos metodológicos utilizado na prossecução da pesquisa. O cerne da pesquisa é caracterizar o desenvolvimento tecnológico em biotecnologia do Brasil e Reino Unido, voltada para suprir as demandas do agronegócio.

Este estudo é de abordagem temporal, exploratória, e descritiva, pois tem como objetivo explorar o fenômeno escolhido e também é descritivo, justo que busca descrever o comportamento dos fenômenos identificado, além disso, procura analisar e discutir o fenômeno quantitativo (COLLIS e HUSSEY, 2005).

O instrumento utilizado para encontrar as tecnologias foi no banco de patentes da *Thomson Innovation*, entre o período 13 a 25 de janeiro de 2017. A estratégia de busca foi delimitada pelo cruzamento de palavras chaves e IPC voltados para agricultura e biotecnologia.

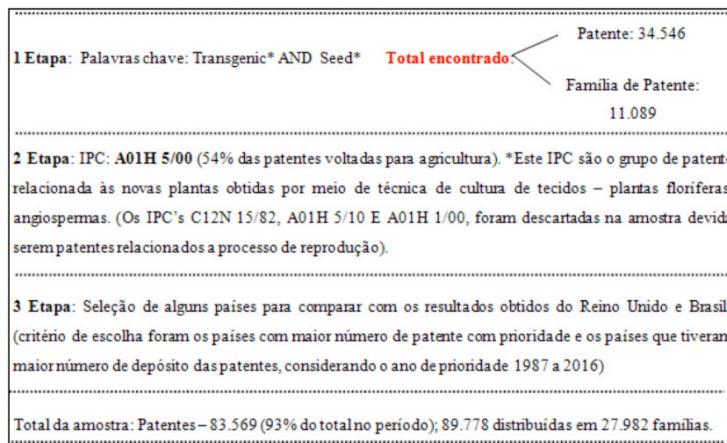


Figura 3 - Construto da Pesquisa

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Após a coleta de dados, as informações foram organizadas por meio da análise de conteúdo. Essa análise é feita por procedimentos sistemáticos, divide-se em três etapas: a pré-análise; exploração do material e tratamento dos resultados, inferência e interpretação dos dados (BARDIN, 2006; MINAYO, 2007).

## 5 | RESULTADOS E ANÁLISES

O resultado das patentes foi estratificado por período, país e continente de origem e de depósito, e comparados os resultados dos dados entre continentes em três períodos: 1987-1996, 1997-2006 e 2007- 2016.

Durante o período 1997 a 2016, conforme demonstra na Tabela 1. Os Estados Unidos, China e Japão tiveram o maior número de famílias com prioridade, 25.505 (71%), seguido da China com 4.946 (8,59%), do Japão com 2.335 (6,57%) e Coréia 963 (2,63%). O número elevado de patentes depositadas pelos Estados Unidos deve-se ao fato do país concentrar as principais empresas do ramo do agronegócio produtoras de agrotóxicos e de melhoramento de espécies vegetal: Monsanto, Pioneer, DuPont e Dow Agroscience.

Empresa	País	MUNDO		BRASIL	
		Número de Depósitos	Famílias	Número de Depósitos	Famílias
Du Pont	US	1714	345	59	58
Pionner	US	5096	2539	60	56
Monsanto	US	5601	2822	69	57
Dow Agroscience	US	1833	301	100	69
<b>Subtotal</b>		<b>14244</b>	<b>6007</b>	<b>288</b>	<b>240</b>
Syngenta//Zeneca/ICI	GB	3045	1313	65	56
Basf	DE	3036	525	118	114
Bayer	DE	1466	295	46	41
<b>Subtotal</b>		<b>4502</b>	<b>820</b>	<b>164</b>	<b>155</b>
Embrapa	BR	40	23	29	19
<b>TOTAL</b>		<b>21831</b>	<b>8163</b>	<b>546</b>	<b>865</b>
		<b>80757</b>	<b>27,0329</b>	<b>1221</b>	<b>0,45</b>
			5		

Tabela 1- Depósito de patente e famílias de patentes de acordo com empresas

Fonte: Elaborado pelas autoras.

No que tange ao total de patentes com prioridade os Estados Unidos contou também com o maior número 58.500 (70%), seguido da China, com 7.180 (8,59%) e do Japão 5.477 (6,55%) e Grã-Bretanha com 3.184 (3,81%).

Já em relação ao número de patentes por família, os países Europeus (Alemanha, Grã-Bretanha e França) apresentaram o maior número de patentes/por família, entre 7 e 8 patentes/família. A Alemanha conta com as empresas de agronegócio BASF e Bayer e a Grã-Bretanha detinha a empresa *Imperial Chemical Industries- ICI Agrochemicals* (1987), transformada na empresa Zeneca (1993) e na empresa Syngenta 2003. Os piores resultados foram o da China, Coréia e Brasil, entre 1 e 2.

País	Famílias	%	Patentes	%	Patentes/Família
BR	65	0,18	107	0,13	1,65
US	25505	71,73	58505	70,01	2,29
CA	320	0,90	667	0,80	2,08
DE	361	1,02	2947	3,53	8,16
CN	4846	13,63	7180	8,59	1,48
AU	611	1,72	2296	2,75	3,76
JP	2335	6,57	5477	6,55	2,35
FR	184	0,52	1361	1,63	7,40
GB	395	1,11	3184	3,81	8,06
KR	936	2,63	1845	2,21	1,97
<b>Total</b>	<b>35558</b>	<b>100</b>	<b>83569</b>	<b>100</b>	

Tabela 2 - Comparativo dos países

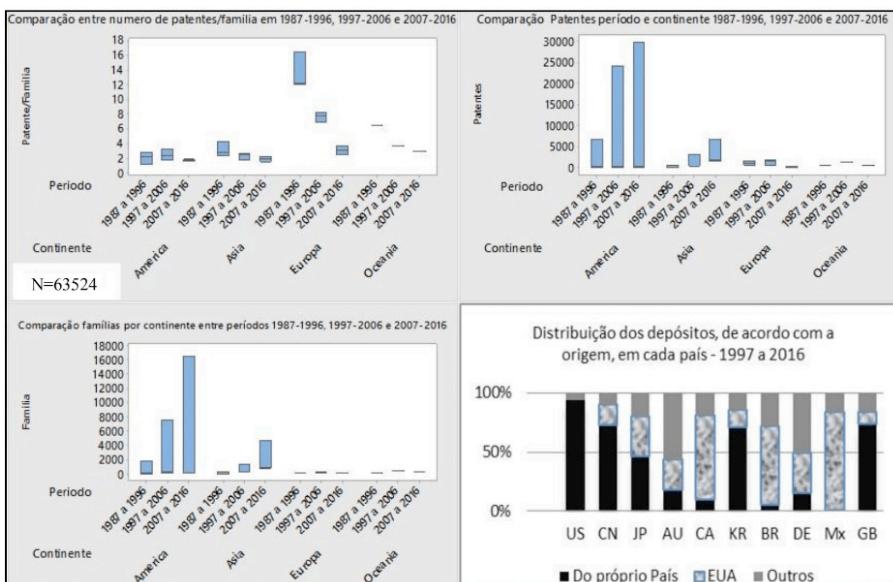
Fonte: Elaborado pelas autoras.

Chama a atenção que cerca de 90% dos depósitos com prioridade da China e Coréia foram depositadas apenas no próprio país. Já nos Estados Unidos, Japão e no Brasil este percentual varia de 50 a 60% respectivamente. Nos países Europeus este percentual fica em torno dos 5% a 7%, ou seja, a maioria das patentes foi depositada em outros países.

Os gráficos demonstram o crescimento do número de patentes e famílias na América e na Ásia. Na América o maior aumento foi nos Estados Unidos, que possui 96% das Patentes do continente, o número de famílias subiu do período de 1987-2016, de 1757 para 16449, cerca de dez vezes.

Já o número de patentes subiu de 6564 para 29.956, cerca de cinco vezes. Este fato resultou numa redução do número de patentes/família de 2,16 para 1,82. A China e a Coréia tiveram um crescimento acelerado de 1987-2016, passaram de 11 para 772 famílias na Coréia e de 11 para 4648 famílias na China.

As patentes aumentaram de 38 para 772 na Coréia e de 22 para 6849 na China. Na China as patentes tiveram um crescimento proporcional, já na Coréia as famílias tiveram um crescimento superior às patentes, o que acabou por reduzir o índice de patentes/famílias de 4,22 para 1,87.



na Ásia e na América estes índices permaneceram constantes nas últimas décadas. Foi expressiva a redução no número de patentes e famílias e no número de patentes/famílias nos países da Europa.

O Reino Unido, que conta com o maior número de patentes e famílias apresentaram uma queda acentuada no número de patentes/famílias, passando de 12,6 para 3,64 no período de 1987-2016. Esta redução se deve a uma diminuição maior no número de patentes depositadas principalmente na Europa. Na Ásia houve um aumento expressivo de famílias e patentes, mas não houve maior disseminação das tecnologias para os demais países. O crescimento entre todos os países analisados a China, o Brasil e o Canadá que possuem o menor número de patentes por família, no período de 2007 a 2016 em torno de 1,47; 1,60 e 1,60.

De acordo com os dados apresentados no quadro abaixo, na década de 1997- 2006, foi significativo o número de depósitos, de Patentes, no Escritório de Patentes Europeu (9%) e em países da Europa, como na Alemanha (1,3% dos depósitos), Hungria, Áustria, Espanha, Dinamarca apesar da maior concentração das tecnologias tenha sido nos Estados Unidos (cerca de, 38%), onde são cultivadas principalmente variedades de milho, canola e soja, na China, Austrália, Canadá (canola, a maior parte do milho e da soja) e Brasil.

Os países que tiveram maior número de depósitos de patentes de novas plantas no período de 2007-2016 foram Estados Unidos, China, Japão, Austrália e Canadá, Coréia, Brasil, México e Argentina. A tabela 3 mostra que houve redução dos depósitos em todos os países da Europa e no Escritório Europeu. O Reino Unido registrou somente três depósitos no país, como pode ser observado na tabela.

País	Continente	1997 a 2016	2007 a 2016	Total	%
US	AMERICA	13182	21761	34943	43,27
CN	ASIA	1635	7709	9344	11,57
JP	ASIA	3420	1731	5151	6,38
EP	EUROPA	3402	1604	5006	6,20
AU	OCEANIA	3257	1503	4760	5,89
PCT		2260	2304	4564	5,65
CA	AMERICA	2322	1851	4173	5,17
KR	ASIA	428	1465	1893	2,34
BR	AMERICA	751	470	1221	1,51
Mx	AMERICA	383	502	885	1,10
ES	EUROPA	567	0	567	0,70
AR	AMERICA	266	279	545	0,67

NZ	EUROPA	300	156	456	0,56
AT	EUROPA	384	21	405	0,50
GB	EUROPA	89	3	92	0,11
		34499	41835	76334	94,52
<b>TOTAL DE DEPÓSITOS</b>		<b>37498</b>	<b>43259</b>	<b>80757</b>	

Tabela 3 – Evolução das patentes biotecnológica de acordo com o depósito

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Empresa Monsanto retirou todas as patentes na Europa, que estavam sob decisão judicial. Somente o milho resistente a insetos (milho Bt) tem autorização para cultivo em solo europeu. Com a redução de depósitos na Europa, houve uma maior concentração de depósitos nos Estados Unidos (52%) e um crescimento de depósitos em outros países Colômbia, México, Chile, Uruguai, África do Sul.

## 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agricultura moderna exige uma complexidade de avanços tecnológicos, acerca de culturas para plantio, fungicidas e pesticidas e segurança alimentar sem degradar o meio ambiente, tornou-se um desafio ainda mais complexo para os países. Países como o Brasil com o direcionamento para a exportação de commodities é dependente deste pacote tecnológico.

Para tal os investimentos em biotecnologia vem promovendo ser um caminho para a solução para estes desafios. Conforme os resultados da pesquisa foram identificados diferenças marcantes entre os continentes e entre o Brasil e países como Estados Unidos, Canadá, Alemanha e Reino Unido, no que se refere a desenvolvimento e disseminação de novas tecnologias. O Brasil ainda muito tímido em desenvolvimento e disseminação de tecnologias, com forte dependência do mercado externo na cadeia produtiva do agronegócio. Embora o Brasil seja dependente de novas tecnologias a sua capacidade produtiva, devido as condições favoráveis de clima e solo, o torna um país vocacionado para o agronegócio, registrando crescimento em pesquisa e inovação, com um cenário otimista para os próximos anos.

Pode-se entender a necessidade de intervenção governamental para o desenvolvimento de políticas que possibilitem pesquisa científica descobertas e interdependência de tecnologia estrangeira desde os níveis básicos de conhecimento biotecnológico capaz de aprimorar e reter o conhecimento para o país, permitindo assim, a continuidade do crescimento e fortalecimento do agronegócio no Brasil.

Portanto, devido uma série de intempéries que impossibilita o desenvolvimento da agricultura no Reino Unido, uma atividade considerada menos lucrativa comparada com as demais existente no país, não impediram do mesmo a investir em biotecnologia voltada para o agronegócio a fim de ser uma tecnologia exportada para outros países. Com a saída da União Européia, possivelmente diminuindo o protecionismo, o país deve explorar mais as pesquisas voltadas para biotecnologia e modificação de genes, considerando o *know how* já proveniente do país.

## REFERÊNCIAS

BARDIN, L. **Análise de conteúdo** (L. de A. Rego & A. Pinheiro, Trads.). Lisboa: Edições 70, 2006. (Obra original publicada em 1977).

CALDAS, Ruy de Araújo. **Agronegócio Brasileiro: Ciência, Tecnologia e Competitividade**. Brasília: CNPq, 1998.

COLLIS, Jill; HUSSEY, Roger. **Pesquisa em administração**: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação. (Trad. Lúcia Simonini). 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

CHARTSBIN, Statistics collector team. **Global Distribution of genetically Modified (GM) Crops**. Divulgado em 2011. Disponível em ><http://chartsbin.com/view/578>< Acesso jan 2017

DOSI, G. Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. **Journal of Economic Literature**, v.6 p.1120-1171, 1998.

GALVÃO, Anderson. **Integração de tecnologias no campo reforça o vigor da agricultura brasileira**. Conselho de informação sobre Biotecnologia, 2013. Disponível em:> <http://cib.org.br/estudo/integracao-de-tecnologias-no-campo-reforca-o-vigor-da-agricultura-brasileira/>< Acesso em Jan, 2017.

IPEA, Instituto de Pesquisa Aplicada. **Agricultura, Transformação produtiva e sustentabilidade**. Organizadores: J. E. R. V. Filho; J. G. Gasques; A. Y. Carvalho [et al.]. – Brasília: IPEA, 2016.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio**: Brasil 2015/16 a 2025/26 projeção á longo prazo. Brasília: MAPA, 2016.

MINAYO, M.C.S. **O desafio do conhecimento**: pesquisa qualitativa em saúde. São Paulo: Hucitec, 2007.

PBS, Program for Biosafety System; ABSP, Agency for International Development, Agricultural Biotechnology Support Project II. **What is Agricultural Biotechnology?** Divulgado em 2004. Disponível em:> [http://absp2.cornell.edu/resources/briefs/documents/warp\\_briefs\\_eng\\_scr.pdf](http://absp2.cornell.edu/resources/briefs/documents/warp_briefs_eng_scr.pdf)< Acesso Jan 2017.

POSSAS, M. L; SALLES FILHO, S. SILVEIRA, J.M. Na evolutionary approach to technological innovation in agriculture: some preliminary remarks. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v.11, n.1/3, p.9-31, 1994.

SCHILLING, Melissa A. **Strategic Management of technological Innovation**. 4th edition. McGraw-Hill, 2013.

ZUIN, Luis Fernando Soares; QUEIROZ, Timóteo Ramos [et. Al.]. **Agronegócio: gestão e inovação**. São Paulo, 2006.

WITMAN, Deborah B. **Genetically Modified Foods: Harmful or Helpful?** Discovery Guides, 2000.

# CAPÍTULO 21

## AJUSTE DE EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS A PARTIR DO DIÂMETRO DO TOCO E DAP PARA A ESPÉCIE DE CEDRO AMAZONENSE (*Cedrelinga catenaeformis*)

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 25/06/2020

### **Carla Alessandra dos Santos**

Universidade do Estado de Mato Grosso  
UNEMAT

Alta Floresta – MT

<http://lattes.cnpq.br/9876126894598633>

### **Murielli Garcia Caetano**

Universidade do Estado de Mato Grosso  
UNEMAT

Alta Floresta – MT

<http://lattes.cnpq.br/7266333296701270>

### **Pedro Paulo Gomes de Oliveira**

Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas do  
Vale do São Lourenço - EDUVALE

Jaciara - MT

<http://lattes.cnpq.br/1821370749142289>

### **Vinícius Augusto Morais**

Universidade do Estado de Mato Grosso  
UNEMAT

Alta Floresta – MT

<http://lattes.cnpq.br/9860717809502990>

### **Jociane Rosseto de Oliveira Silva**

Universidade do Estado de Mato Grosso  
UNEMAT

Alta Floresta – MT

<http://lattes.cnpq.br/7283366487355218>

### **Ivan Cleiton de Oliveira Silva**

Universidade do Estado de Mato Grosso  
UNEMAT

Alta Floresta – MT

<http://lattes.cnpq.br/4808737099066984>

**RESUMO:** O aumento das atividades econômicas em larga escala na Amazônia legal brasileira tem aumentado drasticamente a taxa de desmatamento. O objetivo deste estudo foi ajustar e validar equações de volume utilizando informações do diâmetro do toco (dt) e o diâmetro à altura do peito (dap), para Cedro Amazonense (*Cedrelinga catenaeformis*), no norte de Mato Grosso. Foi realizada cubagem para 33 indivíduos da espécie e realizou-se validação com 20% das amostras. E foram testados 3 modelos volumétricos de simples entrada. Com base nos critérios de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2aj$ ); erro padrão dos resíduos corrigido ( $Syx$ ); e análise gráfica dos resíduos o modelo de Hohenadl foi o que melhor se ajustou. Portanto, a estimativa volumétrica para essa espécie a partir do dt não perde precisão quando comparada as ajustadas pelo dap, sendo uma ferramenta adequada para fiscalização em áreas após exploração.

**PALAVRAS-CHAVE:** Diâmetro da cepa; Fiscalização; Amazônia Mato-grossense.

ADJUSTMENT OF VOLUMETRIC EQUATIONS FROM THE DIAMETER OF THE STUMP AND DAP FOR THE SPECIES OF CEDAR AMAZONENSE (*Cedrelinga catenaeformis*)

**ABSTRACT:** The increase in large-scale economic activities in the Brazilian legal Amazon has dramatically increased the rate of deforestation. The objective of this study was to adjust and validate volume equations using information on the diameter of the stump (dt) and the diameter at chest height (dap), for

Cedro Amazonense (*Cedrelinga catenaeformis*), in northern Mato Grosso. Cubing was performed for 33 individuals of the species and validation was performed with 20% of the samples. And 3 volumetric models of simple entry were tested. Based on the criteria of adjusted determination coefficient ( $R^2_{aj}$ ); standard error of residuals corrected ( $S_{yx}$ ); and graphical analysis of residues the Hohenadl model was the one that best fit. Therefore, the volumetric estimate for this species from dt does not lose precision when compared to those adjusted by dap, being an adequate tool for inspection in areas after exploration.

**KEYWORDS:** Strain diameter; Oversight; Amazon Mato grossense.

## 1 | INTRODUÇÃO

O bioma Amazônico abrange os estados do Pará, Amazonas, Maranhão, Goiás, Mato Grosso, Acre, Amapá, Rondônia e Roraima, totalizando 4.871.000 km<sup>2</sup> de extensão (FERREIRA et al., 2005).

O aumento das atividades econômicas em larga escala na Amazônia legal brasileira tem aumentado drasticamente a taxa de desmatamento, atingindo, no ano de 2016, 7.989 km<sup>2</sup>, concentrados 20% no estado de Mato Grosso, segundo dados do Monitoramento do Desmatamento das Formações Florestais na Amazônia Legal (PRODES, 2017). Considerando essa realidade, ações que complementem ou gerem novas ferramentas que contribuem com o aumento da fiscalização dessas áreas desmatadas, são de extrema importância.

Considerando a exploração madeireira, a principal característica a ser avaliada em florestas é o volume dos indivíduos. Em planos de manejo, serve para tomadas de decisão, constituindo uma das informações de maior relevância para o conhecimento do potencial madeireiro (COLPINI, et al., 2009). Porém, é uma variável de difícil obtenção, a qual acarreta alto custo para a sua determinação, especialmente em florestas nativas. Utiliza-se então o ajuste de equações a partir de variáveis mais simples de serem obtidas, como o dap, utilizada individualmente ou combinada à altura (CORREIA, 2015).

Por outro lado, estudos que utilizam apenas a medição do diâmetro do toco tem sido realizados visando sua aplicação na fiscalização de áreas desmatadas ou em locais que apresentam irregularidades de corte no plano de manejo, uma vez que os tocos, na maioria das vezes, é o que resta da exploração florestal (ROLIM, et al., 2006; LEITE, 2008; MORAIS, et al., 2014; CAETANO, et al., 2016;)

O objetivo deste estudo foi ajustar e validar equações de volume utilizando informações do dt e dap, para uma espécie de valor comercial, no norte de Mato Grosso.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda SEV, na cidade de Tabaporã, norte do estado de Mato Grosso, em uma área de Floresta Ombrófila Aberta de 1.408 ha, já em exploração em regime de manejo florestal sustentável. De acordo com a classificação de Koppen, o clima é do Tipo Aw, isto é, clima tropical chuvoso com estação seca bem definida. Precipitação anual de 2.500mm, com máxima intensidade nos meses de janeiro, fevereiro e março e temperatura média anual de 24 °C.

Foi realizada cubagem pelo método de Smalian (CHAPMAN e MEYER, 1949) para 33 indivíduos da espécie Cedro Amazonense (*Cedrela* *catenaeformis*).

Realizou-se um sorteio de 20% das amostras para compor a validação, totalizando 7 árvores, após foi realizado o teste de Tukey para comparação de média. Os 80% restantes das amostras foram utilizados para os ajustes dos modelos e testou-se 3 modelos volumétricos, todos de simples entrada utilizando apenas a variável dt ou dap.

Todos os ajustes foram realizados no software R versão 3.4.0. A escolha do melhor modelo ajustado foi baseada nos seguintes critérios: a) coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ); b) erro padrão dos resíduos corrigido ( $Syx$ ); e c) análise gráfica dos resíduos.

Modelos utilizados		
	Schumacher Hall	$\ln(Y) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \ln(\varepsilon)$
Simples entrada	Hohenadl	$Y = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \beta_2(DAP^2) + \varepsilon$
	Brenac	$\ln(Y) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2(1/DAP) + \ln$

Onde:  $Y$  = característica de interesse (volume ( $m^3$ ));  $\ln$  = logarítmico neperiano;  $\beta_0$ ...  
 $\beta_4$  = parâmetros dos modelos a serem ajustados;  $DAP$  = diâmetro (cm) medido à 1,30 metros do solo;  $H$  = altura (m) comercial;  $\varepsilon$  = erro de estimativa. Fonte: Scolforo (2005).

Tabela 1 - Modelos volumétricos a serem ajustados para os dados de Cedro Amazonense, no norte do Estado de Mato Grosso.

Fonte: os autores.

Para validação foram analisados o erro médio percentual absoluto - MAPE eq.(1) e o erro médio absoluto – MAE eq. (2), quanto mais próximo de zero os valores dessas estatísticas, melhores serão os resultados da previsão (PRODAN et al, 1997; AHMAD et al., 2005).

$$MAPE = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{|e_i|}{y_i} * (100) \right] / n \quad (1)$$

Onde:  $e_i$  = erro referente à  $i$ -ésima observação;  $y_i$  = valor observado referente a  $i$ -ésima observação;  $n$  = número de observações;

$$MAE = \sum_{i=1}^n |O_i - E_i| / n \quad (2)$$

Onde:  $O_i$  = valor da  $i$ -ésima observação;  $E_i$  = valor estimado para a  $i$ -ésima observação;  $n$  = número de observações;

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando  $R^2_{aj}$  o modelo de Hohenadl apresentou valor mais próximo de 1 para ambas as alturas de medição, se destacando também por apresentar menor erro em ( $m^3$ ) e (%). Os demais modelos apresentaram mesmo valor de  $R^2_{aj}$  para diâmetro do toco e dap e valores de erro bem próximos (Tabela 2). Leite (2008) ajustando equações de volume a partir do diâmetro do toco para uma vegetação de floresta amazônica de terra firme obteve um coeficiente de determinação ajustado variando de 73,8 a 77,1%.

Pode-se considerar que o ajuste a partir do diâmetro do toco fornece resultados satisfatórios.

Parâmetros		dt		Dap			
Espécie	Modelos	$R^2_{aj.}$	Syx( $m^3$ )	Syx (%)	$R^2_{aj.}$	Syx( $m^3$ )	Syx (%)
Cedro Amazonense	S&H log	0,68	1,3370	27,6	0,78	1,0501	21,7
	Hohenadl	0,81	1,2804	26,4	0,87	1,0397	21,4
	Brenac	0,68	1,3102	27,0	0,78	1,0610	21,9

Tabela 2 - Estatísticas de ajuste dos modelos testados com a variável dap: Coeficiente de determinação Ajustado ( $R^2_{ajustado}$ ); Erro Padrão da Estimativa (Syx) em  $m^3$  e Erro Padrão da Estimativa percentual (Syx%).

Fonte: os autores.

Na análise gráfica dos resíduos, todos os modelos se comportaram de maneira semelhante, sendo possível observar uma boa distribuição (Figura 1). Vale ressaltar, que os resíduos dos modelos ajustados a partir da medição de dap foram menos sub e superestimados em relação ao diâmetro do toco.

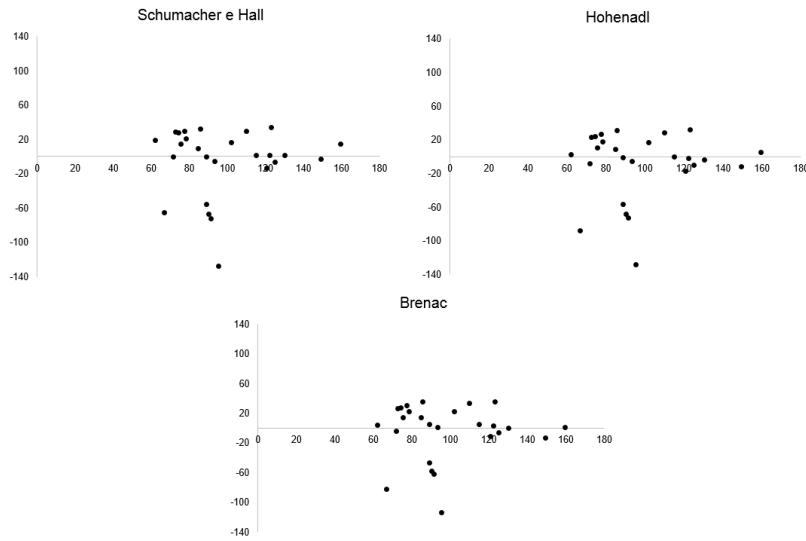


Figura 1 - Dispersão de resíduos dos modelos testados para Cedro Amazonense, em uma área de Floresta Ombrófila Aberta, no norte de Mato Grosso, Brasil.

Fonte: os autores.

Na validação o modelo de Hohenadl apresentou valor menor de erro ( $m^3$ ) em ambas as posições de medição, esse mesmo modelo apresentou maior valor de MAPE (%). Na posição do diâmetro do toco o menor valor de MAPE foi no modelo de Schumacher e MAE no de Hohenadl. A validação confirma que todos os modelos se ajustaram de maneira precisa tanto para dt como dap.

Espécie	Modelo	dt			dap		
		Erro( $m^3$ )	MAPE (%)	MAE( $m^3$ )	Erro( $m^3$ )	MAPE (%)	MAE( $m^3$ )
Cedro Amazonense	S&H log	0,7838	28,55	1,4968	0,5410	35,98	1,6146
	Hohenadl	0,5868	33,71	0,6328	0,4222	37,62	1,6303
	Brenac	0,7544	30,38	0,7768	0,5250	35,76	1,5737

Tabela 3 - Validação das equações ajustadas para Cedro Amazonense.

Fonte: os autores.

Com aplicação do teste de média, utilizando o volume observado como testemunha, foi possível verificar que os modelos não diferiram estatisticamente (Tabela 4).

Modelos	Média
Testemunha	4,78195 <sup>a</sup>
Schumacher Hall	4,24093 <sup>a</sup>
Hohenadl	4,35969 <sup>a</sup>
Brenac	4,25686 <sup>a</sup>

\* Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 4 – Média do volume obtida através do teste de Tukey.

Os gráficos de dispersão dos valores estimados em função dos observados verifica-se que ambos os modelos tiveram uma boa estimativa (FIGURA 2).

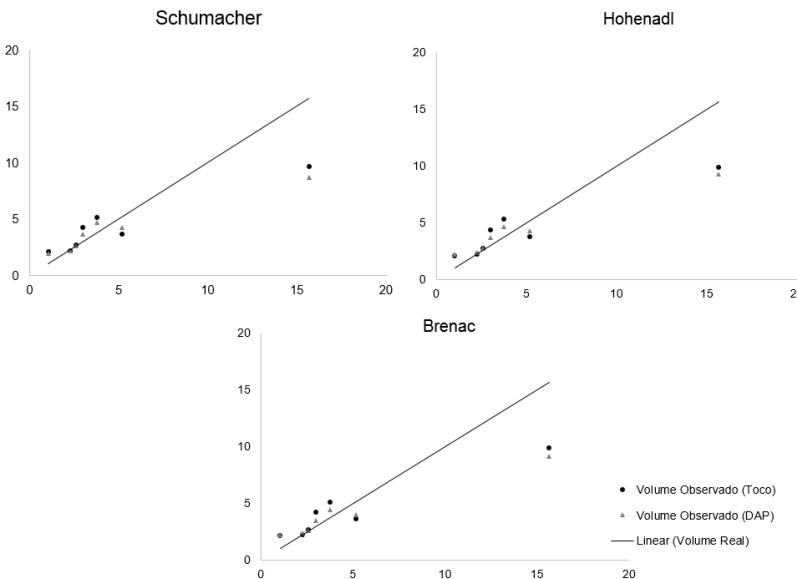


Figura 2 – Validação para os modelos ajustados para a espécie Cedro Amazonense, em uma área de Floresta Ombrófila Aberta, no norte de Mato Grosso, Brasil.

Fonte: os autores.

## 4 | CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que as estimativas volumétricas foram satisfatórias para todos os modelos testados. E que essas equações utilizando dt não perdem precisão quando comparadas as ajustadas pelo dap, podendo ser considerada uma ferramenta para a fiscalização em áreas após exploração.

## REFERÊNCIAS

AHMAD, M. H.; ADNAN, R.; LAU, C. K.; DAUD, Z. M. **Comparing least-square and goal programming estimates of linear regression parameters.** Matematika, v. 21, n. 2, p. 101-112, 2005.

CAETANO, M. G.; SANTOS, C. A.; MORAIS, V. A.; SILVA, J. R. O.; SILVA, I. C. O. **FERRAMENTA PARA FISCALIZAÇÃO PÓS DESMATE: alternativa de aplicação para equações de volume.** Anais: VII SEMANA FLORESTAL, 2016.

CHAPMAN, H.H.; MEYER, W.H. **Forest Mensuration.** New York, McGraw-Hill Book Company, INC., 1949, 522 p.

COLPINI, C; TRAVAGIN, D. P; SOARES, T. S; SILVA, V. S. M. **Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso.** Acta Amazônica, v. 39, n. 1, p. 97 – 104, 2009.

CORREIA, J. **Modelos Volumétricos Para Florestas Secundárias Do Litoral De Santa Catarina.** Dissertação (mestrado), UFSC. 2015.

FERREIRA, L. V; VENTICINQUE, E; ALMEIDA, S. **O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas.** Estudos Avançados, v. 19, p. 53, 2005.

LEITE, F. S. **Estimativa do volume de madeira a partir do diâmetro da cepa de uma área explorada de floresta Amazônica de terra firme.** 2008. Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF, 74 p.

MORAIS, V. A.; MELLO, J. M.; GOMIDE, L. R.; SCOLFORO, J. R.S.; ARAÚJO, E. J. G.; RUFINI, A. L. **Influence of diameter measuring height on the adjustment of volume and biomass equations of Cerrado in Minas Gerais.** Ciéncia e Agrotecnologia, Lavras, v.38, n. 3, p.230-239, 2014.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal.** San Jose: Deutsche Gesellsschaft fur Technische Zusammenarbeit: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1997, 561p.

**PRODES - MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO DAS FORMAÇÕES FLORESTAIS NA AMAZÔNIA LEGAL.** Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>> Acesso em: 23 Jun. 2017.

ROLIM, S.G. **Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé- Aquirí, Serra dos Carajás (PA).** Acta Amazônica, Manaus, v. 36, n. 1, 2006.

# CAPÍTULO 22

## ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO PROCESSO CONSTRUTIVO EM ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCO CERÂMICO

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 24/07/2020

**Anderson Pereira Cardoso**

Universidade Tiradentes

Aracaju – Sergipe

<http://lattes.cnpq.br/0867690299194275>

**Márga Lima da Cruz**

Universidade Tiradentes

Aracaju – Sergipe

<http://lattes.cnpq.br/2428949030893113>

**Weverton Gabriel do Nascimento Mendonça**

Universidade Tiradentes

Aracaju – Sergipe

<http://lattes.cnpq.br/5616338467465125>

**Ana Paula de Santana Bomfim**

Universidade Federal de Sergipe

Aracaju – Sergipe

<http://lattes.cnpq.br/2347151086707986>

**RESUMO:** A alvenaria estrutural é um dos métodos construtivos tradicionais mais utilizados desde os primórdios e o elemento estrutural pode ser composto por blocos cerâmicos ou de concreto. Ademais, como toda técnica construtiva, a existência de erros nas etapas de projetos e execução podem ocasionar problemas futuros, entre esses, as manifestações patológicas. **Objetivos:** Descrever as etapas de execução de alvenaria estrutural, constatar e investigar a ação patológica após a execução. Analisar em

uma cerâmica a fabricação de blocos e suas funções. Visitar obras que utilizem este tipo de alvenaria. **Material e métodos:** Trata-se de um estudo descritivo e exploratório. Visitou-se uma empresa que fabrica blocos cerâmicos e quatro obras em municípios no estado de Sergipe que estavam exercendo construção de alvenaria estrutural com bloco cerâmico no período de setembro a novembro de 2015. **Resultados:** Das quatro obras, foi constatado que a do município de Aracaju não foi eficaz na etapa de compatibilização de projeto e que o material utilizado necessitou ser substituído a fim de evitar fissuração. No outro município, Barra dos Coqueiros, foi evidenciada a manifestação de eflorescência devido a umidade local. Em relação a obra de Itabaiana, o traço na marcação da alvenaria foi aplicado de maneira ineficaz. Na obra do município de Frei Paulo foi observada falha no preenchimento do encontro de paredes, destarte, não se obteve êxito no grauteamento. **Conclusão:** Pode-se constatar que as principais falhas foram decorrentes de mão de obra desqualificada, assim como, o processo construtivo em alvenaria estrutural de bloco cerâmico necessita de rigorosa fiscalização em todas as etapas de execução.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manifestações patológicas; Alvenaria estrutural; Engenharia diagnóstica.

ANALYSIS OF PATHOLOGICAL EVENTS  
IN THE CONSTRUCTIVE PROCESS IN  
STRUCTURAL MASONRY OF CERAMIC  
BLOCK

**ABSTRACT:** Structural masonry is one of the

traditional construction methods most used since the beginning and the structural element can be composed of ceramic or concrete blocks. Furthermore, as with any constructive technique, the existence of errors in the design and execution stages can cause future problems, including pathological manifestations. *Objectives:* Describe the stages of structural masonry execution, verify and investigate the pathological action after the execution. Analyze the manufacture of blocks and their functions in a ceramic. Visit works that use this type of masonry. Material and methods: This is a descriptive and exploratory study. We visited a company that manufactures ceramic blocks and four works in municipalities in the state of Sergipe that were carrying out structural masonry construction with a ceramic block in the period from September to November 2015. *Results:* Of the four works, it was found that the one in the municipality of Aracaju was not effective in the project compatibility stage and that the material used needed to be replaced in order to avoid cracking. In the other municipality, Barra dos Coqueiros, there was a manifestation of efflorescence due to local humidity. Regarding the work of Itabaiana, the line in the marking of the masonry was applied ineffectively. In the work of the municipality of Frei Paulo, a failure to fill the wall meeting was observed, therefore, the grouting was not successful. *Conclusion:* It can be seen that the main failures were due to unskilled labor, as well as the construction process in structural masonry of ceramic block requires strict inspection in all stages of execution.

**KEYWORDS:** Pathological manifestations; Structural masonry; Diagnostic engineering.

## 1 | INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é um processo construtivo tradicional em que as paredes são feitas por blocos cerâmicos ou de concreto que, além de vedar a construção, compõem a estrutura e suportam as cargas do peso das próprias paredes, da laje, da cobertura e da ocupação (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Este método de vedação é aplicado há milhões de anos. Inicialmente eram utilizados blocos de rocha como elementos, mas a partir de 4.000 a.C. a argila passou a ser trabalhada para a produção de tijolos (SOARES, 2003).

No Brasil, a alvenaria estrutural foi introduzida na década de 60 com a construção de alguns edifícios em São Paulo. Sua implementação se deu com a criação de edificações habitacionais na década de 80 e o surgimento das fábricas e grupos de pesquisas sobre o tema (ROMAN, 1996).

Faz-se necessário atenção no processo construtivo em alvenaria do tipo estrutural. Em relação ao concreto, torna-se indispensável o cuidado no lançar deste na hora da dosagem, como também o executar do graute, preenchimento dos espaços vazios nos blocos e canaletas para a solidificação da armadura, respeitando seu tempo de cura (ANTUNES, 2011).

Qualquer que seja o tipo de manifestação encontrada, esta deve ser

registrada, pois a patologia trata-se do estudo investigativo a fim de melhorar o nível de organização e custo da obra, resultando num bom sistema de gestão de qualidade, além de prezar pela segurança (CORRÊA, 2010).

O método de execução de alvenaria, por ser um trabalho artesanal, necessita de mão de obra treinada e possuir um material de qualidade, para que assim o resultado seja eficaz. O estudo torna-se necessário visto que existem inúmeras fábricas de blocos tipo cerâmicos no estado, e profissionais que atuam em obras em funções diversas. Adicionalmente, cabe aos engenheiros civis verificar a produção em empresas especializadas, além de, analisar e reconhecer falhas no levantar de uma alvenaria e pós revestimentos argamassados.

O objetivo geral deste trabalho permitiu investigar a ação patológica após as etapas de execução de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos. E os objetivos específicos foram visitar obras que utilizem este tipo de alvenaria. Analisar em uma cerâmica a fabricação de blocos e suas funções. Averiguar os tipos de materiais a serem utilizados na confecção destes blocos. Indicar qual a falha e o motivo da patologia nos revestimentos aplicados.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de um trabalho descritivo e exploratório, realizado em uma empresa que fabrica blocos tipos cerâmicos e obras que estavam exercendo a construção com o método de alvenaria estrutural no período de estudo de setembro a novembro de 2015.

As estruturas visitadas localizavam-se em quatro municípios sergipanos a saber: Barra dos Coqueiros, Frei Paulo, Itabaiana e na capital Aracaju.

Para que houvesse um maior entendimento sobre a temática abordada foi realizado o acompanhamento de um grupo de engenheiros a fim de obter respostas quanto ao método de fabricação dos blocos e processo de implementação das alvenarias averiguando se existia uma má execução e surgimento das possíveis manifestações patológicas, tais como fissuras e eflorescências, estas, que de acordo com a literatura aparecem com mais frequência em obras.

Quanto a caracterização dos ambientes do estudo, os empreendimentos visitados eram compostos por até quatro pavimentos, com padrão variando entre baixo e médio porte, eram do tipo residencial, em localidades de fácil acesso para população e boa pavimentação. Algumas obras apresentaram o acréscimo de empreiteiros em seu quadro de funcionários e o financiamento de todas ocorre por iniciativa privada.

Além disso, os engenheiros entrevistados referiram haver capacitações antes das etapas de execução per si, que são necessárias para a obtenção de uma

alvenaria estrutural de qualidade. Os processos de treinamento dos funcionários eram ofertados aos encarregados por esta tarefa. Já no canteiro de obras, foram observados quais os serviços e como eram executados, além do processo de estocagem dos materiais.

Através da observação dessas obras foram elucidados os resultados a serem apresentados, bem como a descrição das falhas existentes na execução das etapas dos serviços.

A partir da apreciação de informações e resultados obtidos através das visitas e entrevistas in loco, foi realizado um apontamento de quais operações devem ser rigorosamente controladas, cuja finalidade foi diminuir o número de danos patológicos nas alvenarias estruturais devido à falta de controle na execução.

As etapas vistoriadas nas obras e que remetem em manifestações patológicas foram: Compatibilização dos projetos; Recebimento de material; Armazenamento e transporte dos materiais; Marcação da alvenaria; Elevação da alvenaria; Grauteamento; Vergas e contravergas; Cinta de amarração; Execução de lajes.

Itens observados no transitar das obras e nas redondezas dos municípios visitados foram: Possibilidade de fissuração por excesso de compressão, por variação de temperatura, retração e expansão, deformação de elementos estruturais, por recalque das fundações, por erros em detalhes construtivos e possibilidade de eflorescência.

A partir destes dados foi realizada a elaboração discursiva e crítica, sobre as causas existentes nas obras em Sergipe que refletem em danos patológicos nas alvenarias.

### **3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Todas as obras visitadas têm o conhecimento, por parte dos gestores, de que para que se tenha uma boa alvenaria é necessário um bom profissional na área de elevação dos blocos.

Neste sentido, na obra no município da Barra dos Coqueiros e na cidade de Aracaju são realizados processos de treinamento dos funcionários encarregados por esta tarefa.

Foi exposto, portanto, um manual de práticas para os funcionários alfabetizados, utilidade para parte dos serventes e pedreiros, além dos encarregados, técnicos em edificações e estagiários.

Ademais, um dos engenheiros entrevistados fez referência inicialmente antes das etapas de execução devem ser realizadas capacitações que são necessárias para a obtenção de uma alvenaria estrutural de qualidade. O que corrobora com a literatura que recomenda o treinamento do operário em diversas atividades, pois

estes serão os responsáveis pela execução correta da estrutura, domínio sobre a elevação das paredes, ferragem e concretagem (FRANCO, 2004).

A compatibilização entre os projetos deve existir para que não ocorram imprevistos na fase de execução da obra. Em Aracaju um dos encarregados apresentou um fato de incompatibilidade entre o projeto de hidráulica e alvenaria, o ponto hidráulico em uma das torres estava sendo posicionado em um local indevido e para solucionar foi necessário o acréscimo de uma curva de 90° mais 10 centímetros de tubulação.

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) recomenda que em edificações de alvenaria estrutural, os projetos devem seguir algumas etapas no processo de elaboração. Após a tomada de decisão em relação a alvenaria estrutural verifica se os projetos estão modulados nas direções horizontal e vertical, de acordo com a família de blocos estruturais escolhida a fim de evitar incompatibilizações (ABCP, 2015).

Em todas as obras foi levado em consideração que para o recebimento de blocos, britas, argamassa, areia, armaduras, deveria ser realizado de forma precisa, atentando-se para a qualidade do material, marca e quantidade solicitada.

Na obra da Barra dos Coqueiros, foi constatada a manifestação de eflorescência em parte das alvenarias, o qual foi informado ser problema na localização da torre que estava muito próxima do rio gerando grande umidade e não um problema na qualidade da argamassa adquirida.

Neste sentido, corroborando com tal aspecto, sabe-se que as patologias de eflorescência são fenômenos bastante comuns no dia a dia, visto que são decorrentes da infiltração de água que deixa na superfície das paredes um pó branco cuja composição é predominantemente de nitrato de potássio, popularmente chamado de salitre. São encontrados principalmente em situações de ambientes umidos e com algum tipo de sais de difícil secagem, estes depósitos apresentam-se com uma “exsudação” na superfície comprometendo os aspectos relacionados à estética (MENEZES et al., 2006).

Em Aracaju, foi referido que no início da obra comprava-se uma areia que não foi aprovada nos testes de qualidade sendo esta substituída, pois como é entendimento da literatura atual, uma areia má selecionada e fora da norma pode gerar fissuras por compressão excessiva (CORRÊA, 2010).

Para um adequado armazenamento e estocagem dos materiais devem-se tomar alguns cuidados, preparar um local plano e se possível com camada de concreto, camada de brita, lona plástica, ou ainda fazendo o uso de pallets, atitude esta para evitar o contato direto com o solo úmido (CARDOSO, 2009). Nas obras foram observadas as regras adotadas e algumas optaram em armazenar em uma torre já parcialmente construída com contrapiso, alvenaria e laje, desta forma o

material estocado estava protegido de intempéries.

A primeira disposição dos blocos é dita como marcação da alvenaria, esta deve ter o correto assentamento, por se tratar da fiada que seguirá de base para as demais. As obras de médio porte adotaram o correto traço da massa e o uso dos equipamentos de medição e conferência, entretanto na obra de Itabaiana o traço foi aplicado de maneira ineficaz pois a coloração da primeira fiada estava igual as demais. Na marcação ainda foi-se necessário atentar-se para as juntas de dilatação que devem ser continuas para não ocasionar fissuras por dilatação térmica.

Elevação da alvenaria é o processo realizado a partir da segunda fiada, nessa etapa surgem os blocos de moldagens diferentes, estes com o intuito de facilitar a construção e evitar a quebra de blocos para adequá-los a sua necessidade (ANTUNES, 2011). Os resultados obtidos em campo mostram que a elevação fora de prumo e de esquadro é bastante comum, isto ocorre devido à ausência de uma boa conferencia na hora da execução, já as amarrações das paredes devem ser executadas de forma escalonada para que fiquem engastadas e que não causem fissuras.

De acordo com Nichele (2014) grauteamento é realizado na alvenaria e seus principais componentes são a armadura e o concreto de consistência fluida, devendo apresentar altas resistências e expansão controlada (MAGALHÃES, 2004). Na obra do município de Frei Paulo foi observada uma falha no preenchimento dos cantos, onde não se obteve êxito no processo de grauteamento, visto que a armadura não foi movimentada após o lançar do concreto resultando assim em espaços vazios, isso compromete a estrutura e estas paredes podem sofrer futuras rachaduras (Figura 1).



Figura 1. Preenchimento com grute.

Fonte: Autores, Frei Paulo, outubro de 2015.

As vergas e contravergas podem ser pré-moldadas ou moldadas no local, com o uso de formas e blocos tipo canaletas. Em Aracaju foi destacado que os pré-moldados são normalmente utilizados quando se tem um número significativo de vãos de portas e janelas a fim de progredir a obra. Discutiu-se na obra que os vão de janelas e portas são um dos principais causadores de fissuras quando não são bem amarrados, dispostos, ou ainda ocorrer o descumprimento do traço do concreto perante norma.

Após a elevação de toda a alvenaria a última fiada de encontro à laje é definida como a cinta de amarração. Esta é executada com o auxílio de blocos tipo canaleta e armadura, a função é de uniformizar as cargas atuantes sobre as paredes de alvenaria (RAMALHO; CORRÊA, 2003). Em todas as obras a execução das cintas de amarração foram realizadas corretamente (Figura 2).



Figura 2. Cintas de amarração com bloco canaleta.

Fonte: Autores, Sergipe, outubro de 2015.

Para finalizar o processo de alvenaria estrutural é executada a laje e cobertura. Esta etapa é considerada uma das maiores causadoras de incidências de patologia, devido a diferença de materiais e o coeficiente de dilatação térmica varia constantemente. Os blocos cerâmicos tendem a expandir quando expostos a umidade aumentando o seu volume, já em relação as lajes de concreto, quando curadas, tendem a retrair, diminuindo suas dimensões. Esse fenômeno gera tensões cisalhantes que podem ocasionar em fissuras no topo das paredes (CORRÊA, 2010). Em todas as obras foram observadas o desprendimento de blocos tipo “U” que ocorre devido ao fenômeno citado anteriormente, entretanto não ocasiona tamanho danos já que o revestimento argamassado será aplicado em seguida.

## 4 | CONCLUSÕES

Em síntese, constatou-se a partir da pesquisa bibliográfica, das entrevistas com os engenheiros e acompanhamento de execução das alvenarias nos canteiros de obras, que existem diversas manifestações patológicas que ocorrem devido à má execução do serviço e utilização de materiais inapropriados.

O resultado desse descumprimento de normas são as chamadas fissuras causadas por compressão, temperatura, reações químicas, retração e expansão, deformações dos elementos estruturais, erros de detalhes construtivos, recalque das fundações e o fenômeno eflorescência.

Em meio as causas de manifestações patológicas, conclui-se que as principais falhas são decorrentes da mão de obra desqualificada e que a alvenaria estrutural precisa de uma rigorosa fiscalização em todas as etapas de execução.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP), **Comunidade da construção, sistemas a base de cimento**, 2002. Disponível em: <<http://www.comunidadedaconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/1/projetos-complementares/projeto/8/projetos-complementares.html>>.

ANTUNES, E. G. P. **Análise de Manifestações Patológicas em Edifícios de Alvenaria Estrutural com Blocos Cerâmicos em Empreendimentos de Interesse Social de Santa Catarina**, 2011.

CARDOSO, F. C. E. F. **Código de práticas nº1 Alvenaria De Vedação Em Blocos Cerâmicos**, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-2009, 46.p.

CORRÊA, Ederson Souza. **Patologias Decorrentes de Alvenaria Estrutural**, 2010. Belém-PA. Disponível em: <<http://www.unama.br/graduacao/engenharia-civil/tccs/2010/PATOLOGIAS-DECORRENTES-ALVENARIA-ESTRUTURAL.pdf>>.

FRANCO, L. S. **Alvenaria Estrutural**. Apresentações Escola Politécnica - PCC 2515. Universidade de São Paulo, 2004. Disponível em: <[http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/7/70/TC025\\_Alvenaria\\_estrutural\\_A\\_x.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/7/70/TC025_Alvenaria_estrutural_A_x.pdf)>

MAGALHÃES, E.F. **Fissuras em alvenarias: Configurações típicas e levantamento de incidências** no Estado do Rio Grande do Sul, 2004. Dissertação (Mestrado Profissionalizante) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MENEZES, R. R. et al. **Sais solúveis e eflorescência em blocos cerâmicos e outros materiais de construção - revisão**. Cerâmica, São Paulo , v. 52, n. 321, p. 37-49, Mar. 2006 . Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132006000100006&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132006000100006&lng=en&nrm=iso)>

NICHELE, B. P. **Alvenaria estrutural de bloco cerâmico**. [Dissertação] Porto Alegre, UFRGS, 2014. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/110095>>.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural.** 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: Pini Ltda, 2003. 188 p.

ROMAN, H. **Manual da alvenaria estrutural com blocos cerâmicos.** [Dissertação]. UFSC, 1996, p. 1-18. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-civil-ii-1/manual-de-alvenaria-estrutural>>.

SOARES, S. M. B. **Alvenaria estrutural.** [Dissertação]. PUCRS, 2003. Disponível em: <[http://www.feng.pucrs.br/professores/soares/Topics\\_Especiais\\_Alvenaria\\_Estrutural/Alvenaria\\_1\\_NOVA\\_VERSAO.pdf](http://www.feng.pucrs.br/professores/soares/Topics_Especiais_Alvenaria_Estrutural/Alvenaria_1_NOVA_VERSAO.pdf)>.

# CAPÍTULO 23

## ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA: EMPRESA BAJA ESPINHAÇO

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 07/07/2020

### Rafaela Ribeiro Reis

Universidade Federal dos Vales do  
Jequitinhonha e Mucuri  
Montes Claros – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/9278620614310139>

### Juliani Ramos Belício

Universidade Federal dos Vales do  
Jequitinhonha e Mucuri  
Montes Claros – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/7629962935434672>

### Marcelino Serretti Leonel

Universidade Federal dos Vales do  
Jequitinhonha e Mucuri  
UFVJM - ICT  
Diamantina – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/1543099536687790>

### Antonio Genilton Sant'Anna

Universidade Federal dos Vales do  
Jequitinhonha e Mucuri  
UFVJM - ICT  
Dimantina – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/9598443005385506>

sua formação a equipe participa anualmente das competições promovidas pela SAE Brasil. Durante a competição são avaliados diversos requisitos, dentre eles o Plano de Negócio da empresa. Este trabalho consiste em uma fundamentação teórica que considera elementos da análise de viabilidade da empresa como fluxo de caixa, investimentos, custos e receitas. Com o objetivo de verificar a viabilidade do empreendimento, foram utilizadas ferramentas de avaliação econômica e feitas análises de sensibilidade em cenários prováveis, otimistas e pessimistas, levando em conta o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), a Taxa de Rentabilidade (TR) e o Ponto de Equilíbrio (PE). Com os resultados obtidos foi verificado que a empresa Baja Espinhaço é inviável em curto prazo (doze meses) em todos os cenários. Porém, a partir do segundo ano em atividade, se torna rentável. Logo, a empresa não é ideal para lucro imediato, se tornando um bom negócio a longo prazo, apresentando boa expectativa de crescimento e rentabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Viabilidade Econômica. Fluxo de Caixa. Baja. Plano de Negócio. Veículos Off-road.

### ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS: BAJA ESPINHAÇO COMPANY

**ABSTRACT:** The Baja SAE Brazil program is a competition between higher education institutions in which engineering students are challenged to develop an off-road vehicle. The “Baja Espinhaço” group was founded in 2011 at UFVJM, composed of Mechanical Engineering

**RESUMO:** O programa Baja SAE Brasil consiste em uma competição entre instituições de ensino superior na qual os alunos dos cursos de engenharia são desafiados a desenvolver um veículo off-road. A equipe Baja Espinhaço foi criada em 2011 na UFVJM, constituída por alunos e professores da Engenharia Mecânica. Desde

students and professors. Since its inception, the team has always participated in annual SAE Brazil competitions. During this time, many aspects of the project are evaluated, one of them being the Business Plan. This work is a theoretical foundation that takes into account the elements of feasibility analysis of any enterprise, such as cash flow, investments, costs and profits. In order to verify the feasibility of this project, several economical valuation tools were used, and sensitivity studies were performed in probable optimistic and pessimistic scenarios, considering the variables Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Rate of Return (ROR) and Break-Even Point (BEP). With the results it was verified that the “Baja Espinhaço” business is impracticable in the short term (twelve months) in all scenarios, but from the second year forward it becomes profitable. Therefore, the venture is not ideal for immediate profit, making it just a financially rewarding business in the long run, presenting good prospects for growth and profitability.

**KEYWORDS:** Economic Viability. Cash flow. Baja. Business Plan. Off-road vehicle.

## 1 | INTRODUÇÃO

O projeto Baja da SAE (*Society of Automotive Engineers*, da sigla em inglês: Sociedade dos Engenheiros da Mobilidade, no Brasil) é uma competição estudantil de instituições de ensino superior de engenharia, onde o desafio aos alunos é a construção de um veículo monoposto *off-road*. Essa modalidade de competição oferece aos discentes a chance de empregar os conhecimentos adquiridos em sala de aula de forma prática e, ao mesmo tempo, contribui na preparação para o mercado de trabalho (SAE Brasil, [s.d.]).

O Projeto Baja SAE Brasil foi inserido na Universidade dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM em 2011, quando foi fundada a equipe Baja Espinhaço, após receber a visita do professor Ronnie Rego (membro de uma equipe Baja durante a graduação) do Instituto Tecnológico Aeronáutico – ITA. Ele foi responsável por apresentar aos estudantes envolvidos os principais pontos da competição e como traçar suas metas e objetivos iniciais.

Para participar das competições nacionais, promovidas pela SAE Brasil, cada equipe deve projetar e construir um protótipo baja monoposto recreativo, seguro, de fácil transporte, com simples manutenção e operação e que cumpra os regulamentos da competição, além de conseguir suporte financeiro para o projeto (UFJF, 2010). Esse tipo de automóvel deve ser preparado para vencer terrenos acidentados, em qualquer condição climática, sem apresentar danos que comprometam a segurança do piloto.

Durante as competições as equipes são avaliadas por juízes através de uma análise padrão determinada pelo regimento do evento. Além do projeto estrutural do protótipo também é avaliado o plano de vendas, marketing e o plano de negócio de uma empresa fictícia (indústria de veículos *off-road*).

No que se refere ao plano de negócio, são avaliados principalmente a análise de viabilidade comercial, o retorno sobre o investimento, estratégias, conexões com as características do produto e projeto apresentado e precificação do produto através de ferramentas econômicas.

O plano de negócios é um instrumento para traçar um retrato do mercado, do produto e das atitudes do empreendedor. Por meio dele é possível obter informações detalhadas do mercado, produtos e serviços, clientes, concorrentes, fornecedores e, principalmente, pontos fortes e fracos do negócio, contribuindo para a identificação da viabilidade do negócio e da gestão da empresa (SEBRAE, [s.d.]).

Através da utilização do plano de negócios SEBRAE 3.0 e de ferramentas de avaliação econômica é realizada a análise de viabilidade voltada para uma montadora de veículos *off-road*.

Em vista destes aspectos entende-se que a realização deste trabalho é oportuna e de suma importância, visto que a equipe Baja Espinhaço necessita apresentar um plano de negócio e justificar sua viabilidade econômica como uma empresa de comercialização de veículos *off-road* assegurando o cumprimento das normas e regulamentos da competição realizada pela SAE.

## 2 | METODOLOGIA

Este trabalho consiste na utilização do Plano de negócio SEBRAE 3.0 para demonstrar a viabilidade econômica de uma empresa de veículos *off-road* em Contagem/MG. O plano de negócio foi incrementado com dados referentes a valores, taxas e juros, utilizando também uma planilha de fluxo de caixa para a conclusão do estudo.

Além disso, foi realizada uma revisão de literatura a respeito das ferramentas de avaliação econômica: VPL ( Valor Presente Líquido), TIR ( Taxa Interna de Retorno), TR (Taxa de Rentabilidade) e PAYBACK, e também a respeito da análise de mercado, localização e tamanho, plano financeiro, plano operacional e plano de marketing, com o objetivo de assegurar a análise de viabilidade.

## 3 | FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA

O Valor Presente Líquido (VPL) tem como objetivo calcular o valor presente de sucessivos pagamentos futuros. Sua finalidade é atualizar os fluxos de caixa através dos faturamentos, despesas e lucros operacionais dentro do planejamento da empresa, empregando como taxa de desconto a taxa mínima de atratividade, que representa o mínimo que um investidor se propõe a pagar ao fazer um investimento ou financiamento (FERREIRA, 2009).

A Taxa Interna de Retorno (TIR), por sua vez, representa a taxa de retorno do investimento, sendo uma taxa de desconto hipotética dada pelo seu fluxo de caixa (FERREIRA, 2009).

A Taxa de Rentabilidade (TR) está associada ao retorno sobre o investimento e outros indicadores quantitativos (FISCHAMNN; ALMEIDA, 1995), ela estabelece uma relação entre o lucro líquido anual dividido pelo investimento (MOTTA; CALÔBA, 2002).

O *Payback* descontado é o período de tempo necessário para recuperar o investimento. Neste fluxo o investimento é mantido e os fluxos futuros são descontados proporcionalmente ao período somado ao investimento inicial. Quando este se anula tem-se o período de retorno (*payback*) (FERREIRA, 2009).

A análise de equilíbrio tem como finalidade verificar um ponto em que duas alternativas, sendo essas funções de um mesmo parâmetro e também comparadas em iguais condições de tempo, apresentem mesmo valor. Esse ponto é chamado de Ponto de Equilíbrio (HIRSCHFELD, 2007).

Já a Análise de Sensibilidade é um método que determina a variação dos indicadores de um projeto em função de uma mudança em uma única variável, mantendo-se todas as demais constantes. Os indicadores VPL e TIR são os mais usados na análise de sensibilidade pelas empresas. (CAVALCANTE; ZEPPELINI, 2017).

Em contrapartida, a Análise de Cenários verifica o efeito das alterações em diversas variáveis simultaneamente (CAVALCANTE; ZEPPELINI, 2017).

## 4 | BAJA ESPINHAÇO

### 4.1 A Empresa

A empresa Baja Espinhaço irá operar na montagem de veículos *off-road* monoposto. Sua missão será produzir veículos *off-road* que as pessoas desejem comprar e sintam prazer em dirigir. Terá como visão ser reconhecida, em cinco anos, no Estado de Minas Gerais, como um empresa confiável, que fornece produtos seguros e de qualidade. Para tanto irá calcar-se nos seguintes valores: honestidade, sustentabilidade e ética.

A constituição da empresa será na forma jurídica de sociedade limitada, com enquadramento tributário no âmbito federal de regime simples. Será composta por sócios e a parte financeira será dividida em duas partes, sendo 80% do valor do empreendimento financiado por meio de recursos bancários e o restante oriundo de recursos próprios, sendo dividido em partes iguais entre os sócios.

## 4.2 Localização e Tamanho

O projeto deve definir claramente qual será a melhor localização para a unidade de produção. Esta deve permitir o aumento de produção e ao mesmo tempo reduzir os custos necessários a essa produção, elevando assim ao máximo os benefícios líquidos do projeto. (BUARQUE, 1984).

Segundo Buarque (1984), alguns fatores básicos que regem normalmente a determinação da localização das fábricas, que são, localização dos materiais de produção (inssumos), disponibilidade de mão-de-obra, facilidade de transporte, distância e dimensão do mercado e facilidade de distribuição.

Desta forma, a determinação da localização está diretamente relacionada ao estudo das demais etapas, como custos, engenharia, mercado e tamanho.

Como a empresa objetiva situar-se no estado de Minas Gerais e de acordo com as premissas citadas, a localização que melhor preenche os requisitos é a cidade de Contagem, na região metropolitana de Belo Horizonte. Essa localização contempla um polo industrial com inúmeros fornecedores de matéria-prima, mão de obra diversificada, transportadoras, além de um sistema viário feito através das principais rodovias do país.

Quanto ao tamanho da empresa, segundo Buarque (1984), os estudos de mercado são realizados pelos projetistas para determinar a programação da produção de acordo com a capacidade que a economia tem para absorver o produto estudado e fazer uma estimativa futura dessa capacidade de absorção durante a vida útil do projeto.

O tamanho da empresa Baja Espinhaço será baseado no percentual de utilização de veículos *off-road* para entretenimento e turismo.

Alves (2017), gerente da operação BRP (Empresa Bombardier Recreational Products) na América do Sul, grupo canadense responsável pela Can-Am (Empresa de Veículos *off-road*), estima que o mercado de UTV (*Utility Task Vehicle* - veículo utilitário multitarefas. Classificação em que se enquadra veículo baja) no Brasil triplicou desde o início de sua comercialização, em 2011, com potencial de crescimento devido as dimensões do país e sua diversidade ambiental.

Ribeiro (2017) estima que o mercado de UTV no Brasil cresceu 306% desde 2013. Em 2016, foram comercializadas cerca de 700 unidades no Brasil, sendo esta a única categoria que obteve crescimento em número de inscritos em 2016 nos principais eventos *off-road* do país.

Como o tamanho ótimo da empresa leva em consideração a oferta de eventos, passeios e esportes *off-road* no Brasil, a condição de mercado para a comercialização deste tipo de veículo e a concorrência limitada, para este estudo, vamos considerar uma produção média de 228 veículos anuais, trabalhando

inicialmente em potência mínima de produção, evitando assim possíveis prejuízos. Essa produção foi determinada pensando na viabilidade empresarial, financeira, economia de escala, de matéria-prima, de mão de obra e localização.

Um estudo minucioso para determinar os custos, receitas, lucro e rentabilidade da montadora priorizando uma empresa com máxima rentabilidade é a proposta deste estudo, seguindo uma proposta de produção contínua (salvo em períodos de manutenção).

### 4.3 Análise de Mercado

De acordo com Buarque (1984), a finalidade do estudo de mercado é estimar a quantidade, o preço e quem comprará o produto.

A empresa será capaz de montar em média 228 carros por ano, sendo o preço individual do veículo R\$45.000,00 buscando atender as seguintes categorias de clientes:

- Jovens (acima de 12 anos) e adultos de classe média alta que praticam esporte off- road;
- Hotéis e resorts que investem em entretenimento para atrair hóspedes e;
- Locadora de Veículos turísticos.

### 4.4 Plano Operacional

O plano operacional tem como objetivo analisar as diversas necessidades da empresa, visando o aprimoramento dos recursos, melhoraria do produto oferecido, dinamismo e eficiência no atendimento.

A empresa Baja Espinhaço apresenta uma estrutura organizacional macro da forma: seção administrativa e seção de montagem.

A seção administrativa é subdividida em: presidência, gerência e os departamentos financeiro, marketing e de atendimento.

A presidência desempenhará as funções de administrar os recursos materiais e financeiros, determinar o que deve ser desenvolvido, estipular as contratações, estabelecer e selecionar relações externas além de fundamentar estratégias para organizar de forma coerente a relação entre a empresa e o empregado. A gerência deve controlar de forma eficiente os fornecedores e o tempo gasto, além de analisar o desenvolvimento da montagem dos veículos e assegurar o cumprimento das tarefas dos departamentos.

O setor de montagem é o chão de fábrica e é direcionado para confecção dos veículos com base nos projetos criados e definidos pelos devidos responsáveis. Este setor é subdividido em cinco áreas: Estrutura, Suspensão e Direção, Transmissão, Elétrica e Freio e as etapas para confecção do veículo são: projeto, análise através

de softwares, fabricação, validação e montagem.

O modelo de linha de montagem para o chão de fábrica é o de células de produção baseado no Toyotismo. Neste sistema, o operador conhece todas as etapas de montagem do produto, podendo atuar em diferentes áreas. Outro benefício é o acompanhamento de qualidade constantemente, ou seja, durante toda a preparação do veículo haverá controle visual e de processamento das operações, elevando a qualidade do produto final. (ALVES, 2017).

A produção dos protótipos será iniciada após a abertura da empresa, o produto será entregue ao cliente após a confirmação da compra. De acordo com o tempo de fabricação, a empresa poderá atender mensalmente uma média de 19 clientes para entrega do produto.

#### **4.5 A Engenharia**

De acordo com Buarque (1984), esta etapa busca determinar o processo de produção, os equipamentos e as instalações tornando possível o cálculo dos custos de investimentos e de operação. (BUARQUE, 1984).

Para a definição do tipo de mão de obra e dos equipamentos, assim como de suas quantidades, foram considerados fatores como o tamanho e localização da empresa, a fim de suprir as necessidades de venda esperadas.

#### **4.6 Plano de Marketing**

A empresa Baja Espinhaço pretende oferecer serviços como montadora de um protótipo *off-road*.

Os veículos ofertados pela empresa terão as seguintes características:

- Desenho moderno e robusto;
- Cabine monoposto;
- Rodas de 11”;
- Volante removível para facilitar a entrada e a saída do piloto;
- Dispositivo de limitador de velocidade;
- Painel para visualizar temperatura do motor, velocidade e nível de combustível;
- Farol e luz de freio;
- Conjunto de redução por transmissão continuamente variável;
- Engate 400kg;
- Velocidade máxima de 50km/h;

- Fácil partida do motor (chicote) e suave resposta de aceleração;
- Suspensão dianteira duplo A e suspensão traseira semi-trailing;
- Altura livre do solo de 30 cm proporcionando mais facilidade para os condutores superarem os obstáculos;
- Assento ajustável, ergonômico e confortável;
- Cinto de 5 pontas, carenagens de proteção e mata motor de fácil acesso;
- Capacidade total de carga de 109kg e altura máxima de 1,90m;
- Motor Briggs & Stratton 10Hp 305cc;
- Menor consumo de combustível e diminuição nas emissões de gases poluentes.

O valor a ser cobrado pelo produto será de R\$ 45.000,00 (quarenta e cinco mil) e a assistência técnica gratuita, além da comercialização de peças individuais para troca e reparo do veículo conforme necessidade do cliente.

Para divulgação da empresa pretende-se fazer publicidade digital por meio de redes sociais e de uma loja virtual, além de promover e participar de eventos relacionados a *off-road*.

O atendimento aos clientes poderá ser realizado em local físico, Serviço de Atendimento ao Consumidor (SAC) ou através do site da empresa.

## 5 | PLANO FINANCEIRO

De acordo com Buarque (1984) num projeto existe um fluxo físico, onde as entradas chamam-se receitas e as saídas denominam-se custos. Há dois tipos distintos de custos: os investimentos, que são feitos antes da empresa funcionar, e os custos operacionais, que se repetem periodicamente.

Buarque (1984) afirma que, para a etapa de investimentos, estabelece-se os recursos financeiros necessários para executar o projeto e assegurar seu funcionamento inicial. Ao estipular o investimento define-se a relevância de elementos calculados em outras partes do estudo.

Os investimentos dividem-se em duas categorias: investimentos fixos e investimentos circulantes. Os fixos relacionam-se às ferramentas, equipamentos, móveis e utensílios, considerando a quantidade necessária, valor individual e valor total de investimento.

Os circulantes dependem do nível efetivo de produção da empresa, e seu cálculo demanda conhecimento sobre os recursos financeiros necessários para colocar em funcionamento a produção (BUARQUE, 1984).

Dessa forma, os investimentos totais necessários para execução do projeto calculados de acordo com a demanda de implementação da montadora foram de R\$52.864,73 (cinquenta e dois mil oitocentos e sessenta e quatro reais e setenta e três centavos) fixo, o capital de giro de R\$ 305.212,21 (trezentos e cinco mil duzentos e doze reais e vinte e um centavos) e os investimentos pré-operacionais de R\$ 37.000,00 (trinta e sete mil). Os cálculos foram realizados através da ferramenta plano de negócio Sebrae 3.0.

O cálculo das receitas dependente diretamente da produção, isto é, da previsão de quanto será produzido e vendido pela empresa, assim como dos preços que terão os produtos no mercado (BUARQUE, 1984).

Através dos cálculos realizados, por meio do plano de negócio Sebrae 3.0, para implementação da empresa foi estimado um custo unitário para montagem de R\$ 34.495,77 (trinta e quatro mil quatrocentos e noventa e cinco reais e setenta e sete centavos) e de comercialização de R\$ 45.000 (quarenta e cinco mil). Sendo assim a receita calculada será de R\$ 855.000,00 (oitocentos e cinquenta e cinco mil) para uma produção de 19 veículos mensais, totalizando uma receita com vendas de R\$ 10.260.000,00 (dez milhões duzentos e sessenta mil) anual.

O cálculo dos custos operacionais é uma das mais importantes e detalhadas etapas do projeto. São divididos basicamente em: fixos e variáveis. Os custos fixos são aqueles que não dependem, instantaneamente, do nível de produção da unidade. Já os custos variáveis são dependentes diretos do nível de produção em um determinado período, como os custos de matérias-primas (BUARQUE, 1984).

Os custos operacionais mensais serão de R\$ 54.129,70 (cinquenta e quatro mil cento e vinte e nove reais e setenta centavos), que incluem, divulgação de lançamento, salários e encargos, material de escritório e limpeza, IPTU, aluguel, entre outros.

Maquinário e equipamentos desgastam-se com o tempo, a depreciação é a perda de valor desses bens devido ao uso, e seu cálculo é feito com relação ao tempo médio de vida útil. Considerando um prazo de dez anos de vida útil para máquinas, equipamentos, móveis e utensílios, a depreciação anual será igual a R\$5.286,47 (cinco mil duzentos e oitenta e seis reais e quarenta e sete centavos).

O Custo de Comercialização engloba os gastos com impostos, publicidade e comissões de vendedores ou representantes. Esses valores incidem diretamente sobre as vendas e são classificados como custos variáveis. Empresas optantes pelo SIMPLES não estão sujeitas ao recolhimento de impostos como o IRPJ, PIS, COFINS, Contribuição Social, IPI, ICMS e o ISS (ROSA, 2013). Apesar do faturamento anual da empresa Baja Espinhaço ser superior ao teto estabelecido pelo SIMPLES, esse tipo de encargo tributário foi considerado para facilitação dos cálculos.

O fluxo de caixa é considerado um dos principais instrumentos de análise, uma vez que permite identificar o processo de entrada e saída de dinheiro ao longo do tempo. A análise do fluxo de caixa tem como objetivo examinar a origem e aplicação do dinheiro que circulou na empresa, podendo levar à medidas administrativas para correção de erros em sua gestão. A expressão fluxo de caixa pode ser compreendida em três grandes dimensões: o fluxo de caixa passado, o fluxo de caixa previsto e uma terceira forma, essa leva em conta o passado e realiza uma espécie de ajuste de usos futuros obrigatórios de recursos (SILVA, 2008).

## 6 | RESULTADOS

Neste trabalho foi utilizado o plano de negócio SEBRAE 3.0 como primeira fonte de dados. Ao alimentar este plano gera-se um resultado final o qual não possibilita uma análise de cenário e sensibilidade mais adequada da realidade, foi utilizada então, como segunda fonte uma planilha para os cálculos de viabilidade que segue nas Tabelas 1, 2 e 3 e em resumo na Tabela 4. Esta planilha contempla quatro anos nos cenários pessimista, provável e otimista, ou seja, 12 cenários possíveis. Além disso, para cada período provável a capacidade produzida começa com 65% nos seis primeiros meses até 75% nos últimos seis meses. Para cada período otimista a produção é 10% acima do provável e para o caso do período pessimista 10% a menos do provável.

Para a análise de viabilidade nas ferramentas anteriormente citadas (VPL, Payback, TR) foram utilizadas as seguintes taxas de retorno do dinheiro no tempo, ou seja, deflacionando o dinheiro: 0,3%; 0,4%; 0,5%; 0,6%; 0,7% e 0,8%. A escolha destas taxas respeita o histórico de inflação mensal dos últimos anos.

Para alimentar a planilha de fluxo de caixa que contempla as análises de cenário e sensibilidade e considerando uma produção média mensal de 19 veículos foram utilizadas taxas previamente determinadas conforme tabelas a seguir.

	<b>FATOR DE REAJUSTE</b>	<b>PREÇO</b>
<b>12 MESES</b>	-	R\$ 45.000,00
<b>24 MESES</b>	6%	R\$ 47.700,00
<b>36 MESES</b>	6%	R\$ 50.562,00
<b>48 MESES</b>	6%	R\$ 53.595,72

Tabela 1 - Preço de Mercado

Fonte: Próprio autor.

Na segunda fonte de cálculo foram utilizados os dados da primeira fonte dos quais aproveita-se apenas o percentual dos coeficientes e impostos (Tabela 2).

COEFICIENTE IMPOSTO/TAXA	COEFICIENTE CUSTO FIXO	COEFICIENTE CUSTO VARIÁVEL	IMPOSTO DE RENDA
12,0%	6,3%	76,7%	30%

Tabela 2 - Coeficientes e Impostos

Fonte: Próprio autor.

INVESTIMENTO	VALOR DEPRECIÁVEL
R\$ 387.642,00	R\$ 52.864,73

Tabela 3 - Investimento e Depreciação

Fonte: Próprio autor.

Abaixo, na Tabela 4, segue o resumo dos dados coletados na planilha do fluxo de caixa.

Período	Cenário	VPL	TIR	PE	Payback (meses)	Tx – TR
12 meses	Provável	*	*	56%	*	*
	Otimista	*	*	56%	*	*
	Pessimista	*	*	56%	*	*
24 meses	Provável	>0	2,32%	56%	19 meses - 0,3% 20 meses - 0,4% a 0,8%	0,3% - 28% 0,8% - 20%
	Otimista	>0	3,15%	56%	18 meses - 0,3% a 0,6% 19 meses - 0,7% a 0,8%	0,3% - 40% 0,8% - 32%
	Pessimista	>0	1,45%	56%	21 meses - 0,3% 22 meses - 0,4% a 0,7% 23 meses - 0,8%	0,3% - 15% 0,7% - 10% 0,8% - 8%
36 meses	Provável	>0	4,44%	56%	20 meses - 0,3% a 0,7% 21 meses - 0,8%	0,3% - 99% 0,8% - 81%
	Otimista	>0	5,11%	56%	18 meses - 0,3% a 0,6% 19 meses - 0,7% a 0,8%	0,3% - 119% 0,8% - 99%
	Pessimista	>0	3,73%	56%	22 meses - 0,3% a 0,6% 23 meses - 0,7% a 0,8%	0,3% - 80% 0,8% - 63%

<b>48 meses</b>	Provável	>0	5,31%	56%	19 meses - 0,3% a 0,4% 20 meses - 0,5% a 0,8%	0,3% - 175% 0,8% - 143%
	Otimista	>0	5,76%	56%	18 meses - 0,3% a 0,5% 19 meses - 0,6% a 0,8%	0,3% - 199% 0,8% - 164%
	Pessimista	>0	3,85%	56%	23 meses - 0,3% a 0,4% 24 meses - 0,5% a 0,8%	0,3% - 105% 0,8% - 83%

Tabela 4 - Resumo dos Valores obtidos através das ferramentas de avaliação

Fonte: Próprio autor.

De acordo com a tabela acima, para os primeiros 12 meses observa-se que o VPL, a TIR e TR geraram valores negativos, não havendo recuperação do dinheiro (Payback). Assim, a viabilidade do empreendimento ocorre a partir do segundo ano de atividade.

Em todos os casos o ponto de equilíbrio é igual a 56%, o que significa que: quando a produção alcança este valor as receitas se igualam aos custos, ou seja, a empresa não obtém lucro mas é capaz de se manter, consequentemente, para uma produção superior a 56%, passa-se a obter lucro.

## 7 | CONCLUSÃO

Este estudo permitiu desenvolver o projeto da constituição de uma empresa, desde a ideia inicial, como definir sua localização, tamanho, engenharia, mão de obra e custos operacionais até o seu desenvolvimento como unidade de produção.

Para toda a base de cálculos e definições a respeito da constituição da empresa foram utilizadas duas fontes de geração e organização de dados: o plano de negócio 3.0 do Sebrae e uma planilha de viabilidade econômica contemplando quatro períodos e para cada um deles a avaliação nos cenários pessimista, provável e otimista.

Por análise, concluiu-se que é inviável uma produção inferior a 200 veículos por ano, devido a tecnologia necessária para realizar a montagem do veículo e à potencialidade de crescimento do mercado *off-road*. Sendo assim, foi estipulado o tamanho ótimo da empresa em uma produção de 19 veículos mensais sendo 228 veículos anuais no valor de R\$ 45.000,00 cada totalizando uma receita com vendas de R\$ 10.260.000,00 anual.

Segundo os resultados obtidos através do plano de negócio 3.0 do Sebrae e da planilha de viabilidade econômica conclui-se que a empresa Baja Espinhaço é inviável em curto prazo (12 meses) em todos os cenários. Porém, a partir do

segundo ano em atividade, se torna rentável. Portanto, a empresa não é ideal para lucro imediato, se tornando um bom negócio a longo prazo, apresentando boa expectativa de crescimento e rentabilidade.

## REFERÊNCIAS

ALVES, G. P.; PIMENTA, J. P. **GeoArt – Poços Artesianos:** Análise de viabilidade econômica da empresa. Diamantina: UFVJM, Instituto de Ciência e Tecnologia, 2017. 60 páginas.

BRP BRASIL. **UTV's representam a categoria que mais cresce nas competições off-road.** São Paulo, 2017. Disponível em: <[http://mundopress.com.br/view\\_release.asp?id=117\\_13&desc=UT\\_Vs%2Brepresentam%2Btam%2Ba%2Bcategoria%2Bque%2Bmais%2Bcresce%2Bnas%2Bcompeti%25E7%25F5es%2Boff%25\\_2Droad](http://mundopress.com.br/view_release.asp?id=117_13&desc=UT_Vs%2Brepresentam%2Btam%2Ba%2Bcategoria%2Bque%2Bmais%2Bcresce%2Bnas%2Bcompeti%25E7%25F5es%2Boff%25_2Droad)>. Acesso em: 12 de julho de 2018.

BRASIL, SAE. **BAJA.** Disponível em: <<http://portal.saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil>>. Acesso em: 12 de julho de 2018.

BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos:** uma apresentação didática. Rio de Janeiro: Campus, 1984.

CAVALCANTE, F.; ZEPPELINI, P. D. **Relembrando alguns aspectos importantes na montagem do fluxo de caixa.** Disponível em: <<http://www.caalcanteassociados.com.br/utd/UpToDate193.pdf>>. Acesso em: 09 agosto 2017.

FERREIRA, R. G. **Engenharia econômica e avaliação de projetos de investimentos.** São Paulo: Atlas, 2009.

FISCHAMNN, A. A.; ALMEIDA, M. I. R. (1995). **Planejamento estratégico na prática.** São Paulo: Atlas.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2007. MOTONLINE. **Utv a categoria do motociclismo que mais cresce.** Disponível em: <<http://www.motonline.com.br/noticia/utv-a-categoria-do-motociclismo-que-mais-cresce/>>. Acesso em: 13 de julho de 2018.

MOTTA, R. R.; CALÔBA, G. M. **Análise de investimentos.** SP/Atlas, 2002.

RIBEIRO, R. **UTV? Conheça a história do veículo que os brasileiros foram campeões do Rally Dakar 2017.** Disponível em: <<https://acesso.estadao.com.br/login/autenticar?provider=facebook&r=https://esportes.estadao.com.br/blogs/ricardo-ribeiro/sabe-o-que-e-um-utv-conheca-o-veiculo-usado-pelos-brasileiros-que-foram-campeoes-do-rally-dakar-2017>>. Acesso em: 12 de julho de 2018.

ROSA, C. A. **Como elaborar um plano de negócios.** Sebrae. Brasília, 2013.

SEBRAE. **Software Plano de Negócio, versão 3.0.** Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/atendimento/bibliotecadigital/documento/software/software-plano-de-negocio-30>>. Acesso em: 12 de julho de 2018.

**SEBRAE. Tudo o que você precisa saber para criar o seu plano de negócio.** Disponível em: <<https://m.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/como-elaborar-um-plano-de-negocio,37d2438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD>>. Acesso em: 01 de julho de 2020.

**SILVA, J. P. Análise financeira das empresas.** 9. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

**UFJF. O que é o Mini-Baja SAE.** Disponível em: <https://www.ufjf.br/baja/2010/11/03/o-que-e-o-mini-baja-sae/>. Juiz de Fora, 2010. Acesso em: 07 de julho de 2020.

# CAPÍTULO 24

## GUIDEAPP: FERRAMENTA DE AUXÍLIO À MOBILIDADE DE DEFICIENTES VISUAIS

Data de aceite: 01/10/2020

**Brenno Duarte de Lima**

Faculdade Vale do Salgado

**Hugo Silva Nascimento**

Faculdade Vale do Salgado

**Jacó Alves Graça**

Faculdade Vale do Salgado

**Jonathan Costa Matos**

Faculdade Vale do Salgado

**Natan Silva Ferreira**

Faculdade Vale do Salgado

**Joab Bezerra de Almeida**

Faculdade Vale do Salgado

que faz a combinação de piso tátil e leitura de QR Code de um smartphone, promovendo maior independência quanto à mobilidade e acessibilidade a diversos pontos e vias dentro do bloco anexo da instituição de ensino superior Faculdade Vale do Salgado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Acessibilidade. Deficiência Visual. Mobilidade. Tecnologias.

**ABSTRACT:** The present work deals with the issue of visual impairment, the main problems faced by people with this deficiency, as well as clarifying the common methods of assisting the mobility of the visually impaired. It is set up as a descriptive research and also provides a qualitative survey of qualitative data based on observation as well as qualitative statistics obtained from a bibliographical review and consultation of the state public access database on the incidence of deficiencies in Brazil and the systems and existing technological tools that assist in the social inclusion of these people. We point out as a result of this study the analysis of the implementation of a new tool that combines the tactile floor and reading QR Code of a smartphone, promoting greater independence regarding mobility and accessibility to various points and ways within the attached block of the educational institution superior Faculdade Vale do Salgado.

**KEYWORDS:** Accessibility. Visual impairment. Mobility. Technologies.

### INTRODUÇÃO

Conforme os dados obtidos em

pesquisa realizada por Monteiro (2012), a principal dificuldade enfrentada pelos deficientes visuais consiste nas questões das barreiras arquitetônicas urbanísticas e nas de edificações, na medida em que os principais obstáculos que impedem a acessibilidade e a autonomia desses sujeitos se encontram nas vias públicas, nos terminais de ônibus, nas rodoviárias, nos shoppings centers e etc. Todos os entrevistados mencionaram que há postes, lixeiras, telefones públicos, árvores e veículos estacionados sobre as calçadas, e que estes dificultam a mobilidade e depõem contra a integridade física dos cegos.

Atualmente já há sistemas computacionais capazes de auxiliar e melhorar algumas tarefas e atividades dos deficientes visuais como óculos inteligentes programados, o SOUNDSEE -um dispositivo portátil onde o sistema é baseado no mecanismo de ecolocalização- e outros sistemas integrados a sistemas operacionais tradicionais como o JAWS, uma tecnologia de voz desenvolvida para o Windows para acessar softwares, aplicativos e recursos na internet.

Sendo assim surge a problemática: Como a implantação de uma ferramenta de auxílio de mobilidade a deficientes visuais pode contribuir com a mobilidade dos indivíduos portadores desta deficiência?

Com o objetivo de resolver a problemática citada, a presente proposta tem por objetivo analisar a implantação de um sistema mobile capaz de auxiliar na mobilidade de portadores de deficiência visual, através da utilização de um smartphone, dentro do bloco Anexo da Instituição de Ensino Superior Faculdade Vale do Salgado.

Conforme dito, a problemática gira em torno da deficiência visual e seus respectivos problemas de mobilidade nos afetados, portanto é utilizado como justificativa do desenvolvimento da ferramenta o fato da Instituição de Ensino Superior FVS utilizar o piso tátil como principal ferramenta de auxílio à locomoção dos deficientes visuais, sendo que esse método de mobilidade se torna insuficiente a partir do momento em que o deficiente visual necessita do auxílio de terceiros para se locomover pela a instituição, fazendo-se assim necessário um sistema que o auxilie a locomoção com maior autonomia e segurança.

## REFERENCIAL TEÓRICO

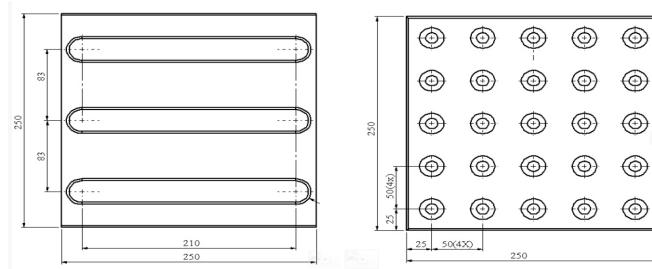
### Piso tátil

Segundo a NBR 9050:2004, regulamentada pela ABNT, todo e qualquer piso deve ser firme, regular, estável e não provocar trepidação a fim de não oferecer riscos a nenhum usuário. O piso tátil é caracterizado pela diferenciação de textura em relação ao piso adjacente, destinado a constituir alerta ou linha guia, perceptível

por pessoas com deficiência visual.

“A sinalização tátil direcional possui superfícies de relevo que orientam o percurso no ambiente em que está instalado. Assim, o deficiente visual pode se guiar sem correr o risco de perder o caminho ou escorregar no piso.” (GARCIA, 2002).

Os pavimentos táteis direcionais devem possuir “textura com seção trapezoidal, qualquer que seja o piso adjacente; ser instalados no sentido do deslocamento; ter largura entre 20 cm e 60 cm; ser diferenciados na cor em relação ao piso adjacente” (ABNT, 2004). Indicam assim o caminho a ser percorrido em espaços amplos. Os pavimentos táteis de alerta segundo as definições da ABNT (2004), possuem textura em formas esféricas em relevo (tronco-cônicas) e devem ser instalados perpendicularmente ao sentido de deslocamento e frente a qualquer elemento arquitetônico que represente perigo para os usuários dessa sinalização, como escadas fixas ou rolantes, rampas, colunas, elevadores, etc.



Piso tátil direcional (esquerda) e piso tátil de alerta (direita).

Fonte: Mudras (2011).

A instalação de piso tátil direcional e de alerta é previsto pelo Decreto 5.296 de 2004, e dispõe a orientar as pessoas com deficiência visual ou visão limitada, prioritariamente, possibilitando maior autonomia e segurança na locomoção destas.

## Código QR

Para a implantação do software, cujo o qual este trabalho propõe, faz-se necessário a integração de QR Codes com o piso tátil, esse último já presente na instituição Faculdade Vale do Salgado.

Segundo a definição de GARCIA (2010), um código QR (QR Code) é um código de barras bidimensional feito a partir de uma forma de pixels pretos e brancos, que permite a codificação de até várias centenas de caracteres. O conteúdo armazenado no código pode então ser decodificado e exibido utilizando um Smartphone ou Tablet.



Exemplo de QR Code com texto “Guide App”.

Fonte: [www.br.qr-code-generator.com](http://www.br.qr-code-generator.com)

“Outra característica interessante do código QR é que por possuir duas dimensões, não é preciso que ele seja lido de um ângulo em particular, sendo legível de qualquer direção por ser omnidirecional (VANZ, 2012, p.35)”.



Figura 3 – Código QR e código de barras comum.

Fonte: [www.noseqret.pt/tudo-sobre-qr-codes](http://www.noseqret.pt/tudo-sobre-qr-codes)

De acordo com os autores Vieira, Coutinho e Minho (2013), o QR incorpora informação, sob a forma de URL, SMS, número de telefone, contatos e texto, numa matriz bidimensional. A informação é armazenada quer na vertical, quer na horizontal e pode ser lida a partir de qualquer direção, dado possuir padrões de reconhecimento posicional em três cantos do código, como pode ser verificado na figura.



Padrões de reconhecimento do QR Code.

Fonte: VIEIRA, COUTINHO e MINHO (2013, p.3).

Ainda conforme Okumura, Junior e Oliveira (2012), os aparelhos smartphone tornaram-se os principais dispositivos para a realização de captura de QR Code, empregando estratégias relacionadas também às áreas de comunicação e educação.

## METODOLOGIA

Configura-se como uma pesquisa descritiva, sendo aplicada uma metodologia de observação avaliando a implantação definitiva do software desenvolvido no bloco anexo da instituição de ensino superior Faculdade Vale do Salgado (FVS).

Conforme a concepção de Gil (2017), a pesquisa descritiva é classificada como intermediária entre a pesquisa exploratória e a explicativa, sendo que seu objetivo principal é descrever características específicas de uma população, fenômeno ou relações entre variáveis. De acordo com Andrade (2004), este tipo de estudo é utilizado para observar fatos e logo após registrar, analisar e classificá-los da forma como são no mundo físico, sendo que o pesquisador não manipula os dados pesquisados.

Ainda de acordo com Vianna (2003) a metodologia de observação tem que as informações científicas que obtemos são inteiramente diferentes das que conseguimos quando fazemos uma observação causal. A diferença centra-se, sobretudo, no fato de que as observações científicas procuram coletar dados que sejam válidos e confiáveis.

A validação de implantação e desempenho da aplicação foi realizada mediante a um teste de usabilidade tendo como parâmetros de avaliação a utilização por meio de dois usuários portadores de deficiência visual grave. Sendo assim, os parâmetros do teste foram medidos através de um questionário subjetivo e aberto aplicado aos usuários.

O questionário do tipo aberto é aquele que utiliza questões de resposta aberta. Este tipo de questionário proporciona respostas de maior profundidade, ou seja dá ao sujeito uma maior liberdade de resposta, podendo esta ser redigida pelo próprio.

O questionário em questão indagou os usuários sobre suas experiências com o uso do aplicativo, objetivando-os a explicitar as vantagens e as desvantagens que o aplicativo oferece aos usuários.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo Almeida, Giacomini e Bortoluzzi (2013), são muitas as barreiras arquitetônicas encontradas no meio urbano, como: escadas íngremes e sem corrimãos, portas estreitas, degraus na entrada de estabelecimentos, pisos escorregadios. Para ter uma cidade acessível a todos, deve-se respeitar a

diversidade física e sensorial entre as pessoas e as modificações pelas quais passa o nosso corpo, da infância à velhice. Deve-se pensar sempre na inclusão, com as rampas, calçadas mais largas, sinalização nas calçadas para deficientes visuais, sinaleira para pedestres e ciclovias.

A acessibilidade diz respeito a locais, produtos, serviços ou informações efetivamente disponíveis ao maior número e variedade possível de pessoas (...). Isto requer a eliminação de barreiras arquitetônicas, a disponibilidade de comunicação, de acesso físico, de equipamentos e programas adequados, de conteúdo e apresentação da informação em formatos alternativos. (W3C, 2005).

Ainda no que tange os resultados, foi avaliada a resposta positiva dos usuários do sistema, onde obtivemos na observação e questionário tais considerações. Ambos avaliaram como benéfico e de fácil utilização, por meio do uso prático de todas as funções na qual a aplicação detém. O teste de implantação foi observado por três integrantes da equipe para coleta precisa de dados, sendo constatada a princípio a facilidade de uso e integração rápida através do dispositivo e do piso tátil da instituição, todavia a implantação parcial na qual foi utilizada para o teste dificultou a análise precisa de usabilidade. A seguir o resultado do questionário:

Usuários	Vantagens	Desvantagens
Usuário 1	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fácil aprendizagem;</li><li>• Fácil instalação;</li><li>• Não apresentou erros em seu funcionamento;</li><li>• Realmente permite a mobilidade de forma independente do usuário.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Necessidade de um pré-treino para a utilização do aplicativo;</li><li>• Não foi possível realizar o teste em todas as rotas do aplicativo por que a aplicação não estava completamente instalada.</li></ul>
Usuário 2	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fácil aprendizagem;</li><li>• Fácil instalação;</li><li>• Não apresentou erros em seu funcionamento;</li><li>• O sistema sempre alerta o usuário sobre sua localidade.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Necessidade de um pré-treino para a utilização do aplicativo;</li><li>• Não foi possível realizar o teste em todas as rotas do aplicativo por que a aplicação não estava completamente instalada.</li></ul>

Tabela de Resultados do Questionário

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tem-se por conclusão deste trabalho o desenvolvimento detalhado de um estudo sobre as dificuldades e as necessidades de um deficiente visual. Isto por base em dados qualitativos, estatísticos quantitativos e pesquisa bibliográfica sobre o tema, onde apontamos como conclusão desse estudo a implantação definitiva

de uma nova ferramenta que faz a combinação de piso tátil e leitura de QR Code, tendo como benefícios a maior independência quanto à mobilidade e acessibilidade a diversos pontos de uma instituição de ensino superior. Bem como mediou o desempenho da aplicação por meio da implantação parcial e testes práticos de usabilidade.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 9050:2004 PDF.** Disponível em: <[www.pessoacomdeficiencia.gov.br/app/sites/default/files/arquivos/%5Bfield\\_generico\\_imagens-filefield-description%5D\\_24.pdf](http://www.pessoacomdeficiencia.gov.br/app/sites/default/files/arquivos/%5Bfield_generico_imagens-filefield-description%5D_24.pdf)> Acesso em: 17 de Abril. 2017.

ALMEIDA, Eridiana; GIACOMINI, Larissa; BORTOLUZZI, Marluze, 2013. **Mobilidade e Acessibilidade Urbana.** Disponível em: <<https://www.imed.edu.br/Uploads/Mobilidade%20e%20Acessibilidade%20Urbana.pdf>> Acesso em: 19 de Abril. 2017.

AMPUDIA, Ricardo. **O que é deficiência visual?** 2011. Disponível em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/270/deficiencia-visual-inclusao>>. Acesso em: 06 de Dez. 2017.

BASTO, Luciana; GAIÓ, Roberta, 2010. **Técnicas de orientação e mobilidade para pessoas cegas:** Reflexões na perspectiva da Educação Física. Disponível em: <<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/movimentoepercicao/include/getdoc.php?id=896&article=362&mode=pdf>> Acesso em: 07 de Dez. 2017.

BATISTA, Cecília Guarnieri. **Deficiência visual, alterações no desenvolvimento e o processo de escolarização.** Disponível em: <<http://www.lite.fe.unicamp.br/cursos/nt/ta2.5.htm>>. Acesso em: 06 de Dez. 2017.

BERNARDES, Júlio. **Sistema ajuda portador de deficiência visual a se locomover,** 2016. Disponível em: <<http://www.usp.br/agen/?p=227411>>. Acesso em: 26 de Mar. 2017.

BERNARDO, Kleber. **Iterativo e incremental:** Suas definições. Disponível em: <<https://www.culturaagil.com.br/iterativo-e-incremental-suas-definicoes>>. Acesso em: 19 de Abr. 2017.

BRUMER, Anita. PAVEI, Katiuscia. MOCELIN, Daniel Gustavo. **Saindo da “escuridão”:** perspectivas da inclusão social, econômica, cultural e política dos portadores de deficiência visual em Porto Alegre, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/soc/n11/n11a13.pdf>> Acesso em: 15 de Abr. 2017.

COSTA, Renata. **Como funciona o sistema Braille?** 2009. Disponível em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/397/como-funciona-sistema-braille>>. Acesso em: 29 de Mar. 2017.

GARCIA, Carolina. SIMÕES, Fernanda. **Sinalização por Piso Tátil:** Um estudo de caso de Maringá. SIMPEGEU: Simpósio de pós-graduação em engenharia urbana- 2012. Disponível em: <<http://www.eventos.uem.br/index.php/simpgeu/simpgeu/paper/download/832/572>> . Acesso em: 15 de Jun. 2017.

IBGE. **Censo,** 2010. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=rj&tema=censodemog2010\\_defic](http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=rj&tema=censodemog2010_defic)>. Acesso em: 06 de Dez. 2017.

IBGE. **Estatísticas de deficientes visuais**, 2010. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/brasil/ibge-24-da-populacao-tem-algum-tipo-de-deficiencia/>>. Acessado em: 22 de Abr. 2017.

**Legislação Brasileira sobre Pessoas com Deficiência**, pdf. 7ª edição. Centro de Documentação e Informação - Edições Câmara. Brasília I 2013. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/responsabilidade-social/acessibilidade/legislacao-pdf/legislacao-brasileira-sobre-pessoas-portadoras-de-deficiencia>> Acesso em: 20 de Abr. 2017.

MATOS, Dr. Fernando. **Definições e Tipos de deficientes visuais**, 2012. Disponível em: <[http://www.news-medical.net/health/Types-of-visual-impairment-\(Portuguese\).aspx](http://www.news-medical.net/health/Types-of-visual-impairment-(Portuguese).aspx)>. Acesso em: 28 de Mar. 2017.

MONTEIRO, Janete. **Os Desafios dos Cegos nos Espaços Sociais**: Um Olhar Sobre a Acessibilidade. Disponível em: <[http://www.portalanped sul.com.br/admin/uploads/2012/Educacao\\_Especial/Trabalho/08\\_02\\_47\\_1081-7293-1-PB.pdf](http://www.portalanped sul.com.br/admin/uploads/2012/Educacao_Especial/Trabalho/08_02_47_1081-7293-1-PB.pdf)> Acesso em: 17 de Abr. 2017.

OMENA, Fabrícia Barbosa. **Comunicação e linguagem**: Estudo do sistema Braille à luz da semiótica, 2009. Disponível em: <<http://intervox.nce.ufrj.br/~brailu/fabricia.pdf>>. Acesso em: 22 de Abr. 2017.

OKUMURA, Maria Lúcia Miyake. JUNIOR, Osiris Cancigliaeri. OLIVEIRA , Clodoaldo Veríssimo de. **A aplicação da tecnologia assistiva no processo de Desenvolvimento Integrado de produtos inclusivos**: um estudo no acesso ao código QR pelo usuário com deficiência visual. Disponível em: <<http://www.biblioteca.pucpr.br/pergamum/biblioteca/img.php?arquivo=000021%2F000021F9.pdf>>. Acesso em: 27 de Jan. 2018.

PINTO, Marisa. **JAWS – Software de ajuda a inviduais**. Disponível em: <<https://pplware.sapo.pt/informacao/jaws-software-de-ajuda-a-inviduais/>>. Acesso em: 30 de Mar. 2017.

PUPO, Deise. MELO, Amanda M. FERRÉS, Sofia P. **Acessibilidade**: discurso e prática no cotidiano das bibliotecas. Unicamp – 2006 Campinas-SP. Disponível em: <[http://areatecnica.sibi.usp.br/images/e/e7/Livro\\_acessibilidade\\_bibliotecas.pdf#page=24](http://areatecnica.sibi.usp.br/images/e/e7/Livro_acessibilidade_bibliotecas.pdf#page=24)> Acesso em: 18 de Abril de 2017.

SILVA, Carlos. **Empresa cria óculos inteligentes para deficientes visuais**. Disponível em: <<http://codigofonte.uol.com.br/noticias/empresa-cria-oculos-inteligente-para-deficientes-visualis>>. Acesso em: 29 de Mar. 2017.

SILVEIRA, Clóvis da; REIDRICH, Regina; BASSANI, Patrícia. **Avaliação das tecnologias de softwares existentes para a Inclusão Digital de deficientes visuais através da utilização de Requisitos de qualidade**, 2007. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/renote/article/viewFile/14286/8204>>. Acesso em: 30 de Mar. 2017.

SIQUEIRAI. Fernando; FACCHINIII. Luiz; SILVEIRAI. Denise; PICCINIII. Roberto; THUMÉIII. Elaine; TOMASII. Elaine. **Barreiras arquitetônicas a idosos e portadores de deficiência física**: Um estudo epidemiológico da estrutura física das unidades básicas de saúde em sete estados do Brasil. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-81232009000100009](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232009000100009)>. Acesso em: 17 de Abr. 2017.

UPTON, Emily. **Como o braile foi inventado**, 2013. Disponível em: <<http://gizmodo.uol.com.br/invencao-braille>>. Acesso em: 29 de Mar. 2017.

VANZ, Nórton Mattiello. **Um estudo sobre a evolução do código de barras linear até o QR Code e sua aplicação em um estudo de caso.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense - IFSUL, CAMPUS Passo Fundo. 2012. Disponível em: <[painel.passofundo.ifsul.edu.br/uploads/arq/201603301911121562361248.pdf](http://painel.passofundo.ifsul.edu.br/uploads/arq/201603301911121562361248.pdf)>: Acesso em: 02 de Abr. 2017.

VIANNA, Heraldo Marelim. **Metodologia da observação.** Pesquisa em, 2003.

W3C, 2005. **Acessibilidade.** Disponível em: <[https://www.maxwell.vrac.pucrio.br/10500/10500\\_3.pdf](https://www.maxwell.vrac.pucrio.br/10500/10500_3.pdf)>. Acesso em: 19 de Abril, 2017.

AMARO, Ana; PÓVOA, Andreia; MACEDO, Lúcia. A arte de fazer questionários. **Porto, Portugal: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto**, 2005.

# CAPÍTULO 25

## O TRANSPORTE COLETIVO E A OPÇÃO SOB DEMANDA: O ESTUDO DE CASO DE GOIÂNIA

Data de aceite: 01/10/2020

**Mauro Cesar Loyola Branco**

Escola Politécnica  
UFRJ-PEU

**Giovani Manso Ávila**

Escola Politécnica  
UFRJ-PEU

**RESUMO:** O artigo analisa o momento atual que passa o transporte coletivo por ônibus e estuda o caso do transporte coletivo sob demanda, “paratransit system”, no Município de Goiânia/GO, como solução complementar ao convencional, no intuito de atrair clientes do transporte individual para o coletivo. Este novo sistema não possui itinerários nem paradas fixas. Os veículos são alocados dinamicamente para acomodar as solicitações recebidas pelos usuários. Através de um aplicativo de celular, o usuário informa o horário de partida desejado, a origem e o destino da viagem. Caso o usuário aceite a hora de chegada prevista, informada, para chegar ao seu destino é direcionado a um ponto virtual, próximo à sua localização, onde deve utilizar um miniônibus para ser transportado até o seu destino. Desta maneira, o Município oferta um novo produto à população, complementar ao transporte coletivo por ônibus convencional, visando atender ao problema da micromobilidade das pessoas, viagens de curtas distâncias, para passageiros que demandam rapidez, conforto e segurança nos seus deslocamentos, mas com tarifas posicionadas entre o transporte coletivo e

o individual.

**PALAVRAS-CHAVE:** Transporte coletivo sob demanda, paratransit, aplicativo, miniônibus.

**ABSTRACT:** This article analyses the current moment of the collective transportation by bus and studies the case of collective transportation by demand, “paratransit system”, in the Municipality of Goiânia/GO, as a complementary solution to conventional system, to attract customers from individual transportation to the collective. The system has no fixed routes or fixed stops. Vehicles are allocated dynamically to accommodate requests received by users. Through a mobile application, the user informs the desired departure time, the origin, and the destination of the trip. If the user agrees to the informed time expected to arrive in his destination, he is directed to a virtual point near his location, where he must use a minibus to be transported to their destination. This way, the Municipality offers a new product to the population, complementary to the collective transportation by conventional bus, to address the problem of people’s micromobility, short distance travel, for passengers who demand speed, comfort and safety in their journeys, but with rates between collective and individual transport.

**KEYWORDS:** Collective transportation by demand, paratransit, mobile phone application, mini-bus.

### 1 | INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o Brasil se consolidou como um país urbano e a mobilidade se tornou um dos grandes desafios das cidades.

O descaso com o planejamento urbano e o crescimento desordenado das cidades [1], acabou por gerar demandas por deslocamentos e, em consequência, por transporte. O processo de urbanização verificado, principalmente na última metade do século passado, resultou em cidades com grandes concentrações populacionais e tornou explícito o conflito entre pessoas dentro do ambiente urbano pela apropriação e o uso de espaços públicos. O aumento da motorização da população, demonstrado pela ampliação da frota de automóveis e motos ao longo dos últimos anos, resulta em uma crise que diariamente é ilustrada pelos congestionamentos e na disputa pelo uso das vias urbanas [2].

O transporte coletivo contribui para atendimento às demandas por deslocamento de pessoas e foi declarado essencial, segundo a Constituição [3], e prioritário em relação ao transporte individual motorizado e de cargas, conforme a Lei Federal nº 12.587 [4]. Um transporte coletivo de passageiros de qualidade fomenta a diminuição de veículos privados nas vias, o que contribui para a redução dos congestionamentos, das emissões de poluentes e dos acidentes de trânsito. Isto, proporciona uma significativa melhoria na qualidade de vida dos cidadãos através do provimento do acesso das pessoas ao ambiente urbano de maneira segura e sustentável [5].

Segundo o relatório da Associação Nacional dos Transportadores Públicos - ANTP [6], no Brasil, 24% dos deslocamentos são realizados pelo serviço de transporte público coletivo de passageiros por ônibus. Ele disputa espaço com os automóveis e motos, num contexto onde a opção para o transporte individual traz cada vez mais veículos privados para as ruas.

A NTU – Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos apurou que cada vez menos pessoas usam ônibus no Brasil ao longo dos últimos anos, enquanto cresce o número de veículos privados nas vias urbanas [7].

Um olhar mais atento pode identificar oportunidades de prestação de serviços de transportes à possíveis clientes que se sujeitariam a sair do transporte individual motorizado, seja próprio ou alugado, e migrar para um novo serviço, coletivo, desde que este atenda às suas aspirações.

Em Goiânia/GO, está ocorrendo uma experiência inovadora de um transporte coletivo sob demanda [8], que se apresenta como solução complementar ao transporte coletivo convencional, com o intuito de atrair clientes do transporte individual para o coletivo, diminuindo assim, o número de automóveis nas vias urbanas. O mesmo pode ser utilizado para o transporte de grupos específicos de usuários ou para o público em geral, com rotas e programações flexíveis. Os veículos são alocados dinamicamente para acomodar as solicitações recebidas pelos usuários. Desta forma, o Município visa atender o problema da micromobilidade das pessoas. Viagens de curtas distâncias, para passageiros que demandam rapidez,

conforto e segurança nos seus deslocamentos, mas com tarifas posicionadas entre o transporte coletivo e o individual.

## 2 | METODOLOGIA

O presente trabalho contempla uma pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa e exploratória. Analisa o momento atual que passa o transporte coletivo por ônibus, a redução sistemática de passageiros pagantes do sistema e a introdução do serviço de transporte coletivo sob demanda na HP Transportes Coletivos Ltda.<sup>1</sup>, em Goiânia/GO e em empresas com experiências similares, em cidades de outros países, como alternativa para trazer passageiros do transporte individual para o coletivo.

## 3 | O CONTEXTO ATUAL DO TRANSPORTE COLETIVO POR ÔNIBUS

As cidades têm espaços viários limitados e não podem ampliar indefinidamente a oferta de infraestruturas viárias para atender ao aumento constante de veículos nas vias. Para garantir o eficiente deslocamento da população é preciso priorizar os meios de transportes que permitem o acesso do maior número de pessoas no menor espaço viário possível. Assim, o planejamento urbano deve ir no sentido de induzir a demanda por transportes que privilegiem o coletivo. Desta forma, o sistema de transporte público coletivo se apresenta como solução eficiente para a produção de viagens nas cidades.

Criada em 2012, a Lei Federal nº 12.587 [9] define como prioritário o transporte coletivo sobre o individual, e os sistemas não-motorizados sobre os motorizados, visando a racionalização dos deslocamentos e a redução dos impactos ambientais, no entanto, o que acontece no Brasil é o crescimento do transporte individual e queda do transporte público coletivo [10].

É fato que o transporte coletivo de passageiros sob pneus (ônibus urbano), modalidade de que trata este estudo, tem perdido passageiros pagantes ao longo dos anos. Entre 2013 e 2017 a queda do número de passageiros acumula 25,9% [11]. A redução na atividade econômica ocorrida nos últimos anos e o crescimento do número de desempregados [12], pode ter impactado nesta diminuição.

Conforme estudo publicado pela Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos [13], enquanto a variação do IPCA do período de 1995 a 2017 foi de 387,09%, a variação do valor das tarifas foi de 847,5%. O aumento dos principais insumos do transporte público, das gratuidades e à alta carga tributária

---

<sup>1</sup> Informações recebidas na reunião “Experiências inovadoras em transporte coletivo: Citybus 2.0”, conduzida pelo Sr. Hugo Santana, Diretor da empresa HP Transportes Coletivos Ltda, Goiânia/GO, em 5 de junho de 2019, no Rio de Janeiro. Seminário promovido pela WRI Brasil (Grupo de Benchmarking QualiÔnibus).

(36% do custo total), teriam impacto diretamente no valor das tarifas. Outro item apurado, no mesmo período, foi o custo acumulado com veículo próprio (que inclui os gastos com aquisição do veículo, emplacamento, licenciamento, pneus, peças e acessórios, combustível etc.) que ficou em 144,41%, bem abaixo da inflação.

### **3.1 O valor da tarifa e a queda de passageiros pagantes**

O serviço de transporte coletivo por ônibus é, em sua grande maioria, prestado sob o regime de concessão. É regulado através de contrato e, normalmente, possui uma tarifa única dentro dos territórios dos municípios. Por conta disso, as linhas com maior demanda de passageiros pagantes compensam a manutenção de linhas de menor demanda.

A tarifa do transporte coletivo consiste no rateio dos custos totais do serviço entre os usuários pagantes. É calculada através de uma planilha que apura os custos (fixos e variáveis) operacionais do sistema e o total de passageiros pagantes. O valor da tarifa é obtido através da divisão do custo total por quilômetro (R\$/km) dividido pelo índice de passageiros por quilômetro - IPK (pass/km), e é calculado e fixado pelo poder concedente. O cálculo do valor da tarifa deve considerar o equilíbrio econômico financeiro do sistema e ser suficiente para custear as despesas operacionais, as gratuidades (salvo se houver a adoção de subsídios) e para a remuneração do concessionário prestador do serviço.

Os custos operacionais são inerentes à atividade do transporte coletivo e crescem ano a ano em razão do aumento dos preços dos insumos e pela adoção de novos padrões de tecnologia que vão sendo embarcados na operação, visando criar melhores opções de desempenho e qualidade. A bilhetagem eletrônica, câmeras, telemetria, rastreadores e biometria facial, são exemplos disso.

Acompanhando a evolução dos preços dos principais itens que compõem a estrutura de custos dos sistemas de transporte público urbano podemos compreender a trajetória das tarifas cobradas atualmente. Desde 2002 as políticas comerciais do setor de combustível vêm efetivando a contenção dos preços da gasolina, o que não ocorreu com o diesel [14]. Com a política de retirada de subsídios e alinhamento com o preço internacional, implementada desde a abertura do mercado de combustíveis, em 1999, o óleo diesel teve um aumento real de preço de 250,9%, enquanto a gasolina de 56,4% [15]

Dentre os custos variáveis, o custo com combustível é o que tem maior impacto e corresponde a aproximadamente 20% do custo total. O aumento do diesel e seu repasse para o valor das tarifas acaba estimulando o uso do transporte individual e atua como barreira adicional ao acesso das populações mais pobres a esses serviços [16].

O crescimento do número de veículos nas vias urbanas (em movimento

ou estacionados) acaba por criar uma resistência à fluidez, aumentando o tempo das viagens e, desta forma, faz com que haja a necessidade de inclusão de mais veículos no transporte público para fazer um mesmo trabalho, aumentando mais ainda os custos operacionais.

A relação entre causa e consequência que alimenta a demanda pelo transporte individual e torna o coletivo pouco atrativo é um problema estruturante. Os ônibus disputam espaço com automóveis e motocicletas, estando eles em movimento ou estacionados, e convivem diuturnamente com o mau estado de conservação de vias, com a falta de sinalização adequada e com a carência de políticas públicas que priorizem o coletivo [17].

Enquanto os usuários demandam das concessionárias do serviço o aumento da qualidade e tarifas mais baixas, boa parte do que é necessário realizar para alcançar este intento fica sob a responsabilidade dos poderes concedentes. O Artigo 29, da Lei nº 8.987/95 [18], conhecida como “Lei das Concessões”, incumbe ao poder concedente, entre outras atribuições, regulamentar o serviço concedido e fiscalizar permanentemente a sua prestação, zelando pelo aumento da qualidade e da produtividade. Desta maneira, para se obter um resultado que satisfaça aos usuários do serviço, é imprescindível que o poder concedente participe de forma efetiva do processo.

As gratuidades no transporte público são direitos das pessoas, definidas em cada instância de governo, conforme critérios e especificidades estabelecidas por legislação própria. Elas representam um percentual significativo no custo do sistema de transporte coletivo. São rateadas pelos passageiros pagantes (salvo se houver algum tipo de subsídio) e acabam por pressionar o aumento do valor da tarifa para conseguir cobrir os seus custos. O custo das gratuidades, no Brasil, impacta em média 17%, mas varia em muito de acordo com cada município [19].

O transporte remunerado de passageiros sem a autorização do órgão competente é disciplinado pelo artigo 231, do CTB [20]. A ação do transporte ilegal se caracteriza por retirar passageiros pagantes dos pontos de ônibus, normalmente, em locais e horários de alta demanda, em estradas pavimentadas e em pequenas e médias distâncias. Atuam somente onde é “comercialmente” viável e sem nenhum compromisso com as cidades. O incremento propiciado pela oferta de transporte ilegal, de certa forma, pode aparentar favorecer os passageiros que estão nos pontos, no entanto, traz consequências para o sistema de transporte coletivo como um todo. A retirada de passageiros pagantes dos pontos faz com que os custos sejam rateados por um número cada vez menor de usuários do serviço e isso acaba por pressionar o aumento das tarifas.

Muitos dos usuários que abandonaram o sistema de transporte coletivo foram em busca de opções alternativas de locomoção, como os aplicativos de transporte

individual [21].

NÉSPOLLI [22] acentua que os aplicativos de transporte individual sob demanda e os de carona compartilhada não conseguem atender às grandes demandas por mobilidade nas cidades brasileiras, principalmente nos horários de pico. “São, na verdade, soluções individuais complementares às redes estruturais de transporte público”, mas que precisam ser organizadas e reguladas de forma a não comprometer o transporte público, que é essencial para toda a população.

A saída de passageiros pagantes que, eventualmente, migraram do transporte coletivo para o individual, faz com que os custos sejam rateados por menos pessoas. Isto também acaba por contribuir para o aumento da tarifa do transporte coletivo.

## 4 I TRANSPORTE COLETIVO SOB DEMANDA

Num contexto de contínua perda de passageiros no transporte público coletivo e de crescimento do transporte individual, a busca de soluções alternativas e complementares ao transporte coletivo convencional para trazer usuários do privado para o coletivo, parece ser uma boa iniciativa.

O transporte coletivo sob demanda é um serviço de transporte de passageiros, em veículos do tipo miniônibus, que pode ser operado por empresas públicas ou privadas (devendo-se observar as regras contratuais vigentes em cada local de atuação), para grupos específicos de usuários ou para o público em geral, com rotas e programações adaptadas para atender as intenções de viagem de um variado número de usuários em uma determinada área de atuação.

Diferente do transporte coletivo convencional, o transporte coletivo sob demanda, não possui itinerários fixos, nem paradas fixas. Os veículos (normalmente tipo vans ou micro-ônibus) são alocados dinamicamente para acomodar as solicitações recebidas pelos usuários. Através de um aplicativo de celular, o usuário informa o horário de partida desejado, a origem e o destino da viagem. Caso aceite a hora de chegada prevista para chegar ao seu destino, é direcionado a um determinado local de encontro (ponto virtual), próximo à sua localização, onde deve aguardar pelo veículo que o transportará até ao destino solicitado.

### 4.1 Experiências do transporte coletivo sob demanda em cidades

Algumas cidades do mundo operam, ou operaram, sistemas de transporte coletivo sob demanda. Em Helsinki, na Finlândia, com o serviço Kutsuplus [23], oferecia uma frota de micro-ônibus sob demanda e permitia que os passageiros solicitasseem rotas e horários personalizados e pagassem pela viagem através do smartphone. Objetivava dar opção para os cidadãos mudarem do transporte individual para o transporte público

O Kutsuplus custava mais do que a tarifa do transporte coletivo convencional,

mas menos da metade do custo da tarifa de táxi e era operado pela Autoridade de Transporte Regional de Helsinque. Apesar do desenvolvimento positivo, a operação em pequena escala exigiu, como esperado, subsídios substanciais. Com a estrutura de custos semelhante ao serviço de ônibus, o montante absoluto de subsídios ainda aumentaria, até que se chegasse a um nível de escala que o tornasse economicamente viável. Isto demandaria, pelo menos, mais dois anos de operação. Por esta razão, o serviço acabou sendo descontinuado no final de 2015.

Em Sydney, na Austrália, a empresa BRIDJ permite aos passageiros reservar um serviço de transporte por meio de um aplicativo móvel.

A BRIDJ [24] nasceu em 2014 em Boston, Massachusetts, devido à necessidade de fornecer opções de transporte para partes da cidade que estavam desatendidas. A tecnologia foi então adquirida pela Empresa australiana Transit Systems e os serviços começaram em Sydney em dezembro de 2017. O BRIDJ foi projetado para complementar os serviços de transporte público existentes, seja conectando-se a um hub de ônibus, balsa ou trem ou simplesmente preenchendo uma lacuna de cobertura, procurando sempre se integrar aos requisitos da rede de transportes.

Em Londres, o serviço está ocorrendo, nos bairros de Sutton e Ealing [25]. Os miniônibus levam vários passageiros que vão numa mesma direção e que fizeram a sua reserva em um veículo compartilhado. Não há rotas fixas ou pontos de ônibus. Em vez disso, um aplicativo mostra às pessoas em um mapa, onde está seu ponto de encontro virtual que fica, em média, a 200 metros da localização dos usuários. Isso ajuda a garantir que, mesmo com vários embarques, não ocorram desvios longos.

Os serviços podem ser reservados por telefone ou aplicativo e pagos com cartão de crédito. Os ônibus são acessíveis para cadeiras de rodas

As empresas operam o serviço com uma licença de locação da Transport for London te em o objetivo de reduzir a dependência do carro e é complementar os atuais serviços de transporte público.

## 5 | O TRANSPORTE SOB DEMANDA EM GOIÂNIA/GO

Fundada em 1933, Goiânia possui, de acordo com o IBGE, cerca de 1.516.000 habitantes, sendo classificado como o décimo segundo município mais populoso do Brasil [26].

Embora Goiânia tenha adotado o sistema de transporte coletivo, baseado no modelo tronco alimentado e, desde 1985, esteja em execução o Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana de Goiânia, o qual indicou extensão dos corredores exclusivos de transporte, os ônibus têm rodado mais quilômetros

transportando menos pessoas [27]. De 2008 até 2016 o sistema perdeu 26% dos passageiros pagantes [28].

Em estudo que avaliou a mobilidade sustentável na Cidade de Goiânia, ABDALA [29], assevera que entre os vários aspectos que necessitam ser promovidos na Cidade, está o incentivo ao transporte coletivo e o desestímulo ao transporte individual.

Neste contexto, Goiânia inicia a implantação do transporte coletivo sob demanda, através da empresa HP Transportes Coletivos Ltda, que é uma das concessionárias do serviço de transporte coletivo em Goiânia desde 1969 e atua nas regiões sul, sudoeste e centro expandido [30].

Desde 2016 a empresa estabeleceu o tema inovação como objetivo principal do seu mapa estratégico e mudou a ênfase que norteava as suas ações: do controle e do serviço, para focar nas pessoas e na geração de valor para as partes interessadas. Em 2018, um grupo de 3 gestores da HP ficaram imersos numa jornada de inovação, durante 6 meses. Foram identificadas as principais “dores” das pessoas que utilizam tanto o transporte coletivo, quanto o individual: Tempo, Conforto e Segurança. Além disso, buscaram entender as diversas necessidades das pessoas que não estavam sendo atendidas pelo transporte coletivo convencional e procuraram encontrar soluções complementares à rede de oferta básica. Foi percebido que as novas tecnologias disponíveis poderiam possibilitar que as empresas aumentassem a sua competitividade no mercado. Desse processo surgiram alguns projetos inovadores como o denominado CityBus 2.0, que começou a ser implementado em fevereiro/2019. O objetivo era atrair novos clientes, dentro da região de atuação da empresa, atendendo ao problema da micromobilidade das pessoas. Viagens de curtas distâncias (cerca de 9 km), com tarifas posicionadas entre o transporte coletivo e o individual.

O CityBus 2.0 é um serviço de transporte coletivo por aplicativo de celular em que o usuário escolhe seu destino, dentro de um polígono de atendimento. O sistema não possui itinerários fixos, nem paradas fixas. Os veículos são alocados dinamicamente para acomodar as solicitações recebidas pelos usuários. Caso o usuário aceite o tempo de chegada ao destino, ele confirma a viagem e é direcionado para um ponto virtual, próximo à sua localização, onde deve aguardar a chegada de um miniônibus para realizar a sua viagem.

O transporte público convencional continua a alcançar às viagens de longas distâncias, de forma barata e eficiente, enquanto o CityBus 2.0 deverá atrair as pessoas do modo individual para o modo coletivo. A empresa espera, com isto, ampliar o seu espectro de ação, diversificando o seu nicho de mercado.

O CityBus 2.0 utiliza um aplicativo da Via Transportation Inc., que busca sempre o trajeto mais rápido, privilegiando a necessidade do cliente, sendo este o

seu grande atributo de valor. São informados ao cliente o tempo de chegada até o ponto virtual, o nome do motorista e a identificação do veículo que vai atendê-lo. É possível também acompanhar o deslocamento do veículo, até ao local de encontro, em tempo real. Ficou estabelecida uma flexibilidade nas rotas de até 800 m do seu eixo, num desvio que não gere um atraso superior a 6 minutos. Se houver algum atraso no trajeto o usuário é avisado.

O veículo pode utilizar vias que são atendidas pelo transporte coletivo, não trafega sem passageiro, não tem nível mínimo de lotação para iniciar a viagem e, caso não seja demandado, fica parado próximo a ao último local de desembarque. Se for necessário, pode ser reposicionado, visando diminuir o tempo de atendimento ao usuário. Cada esquina pode ser considerada um ponto virtual.

Em Goiânia, ficou convencionado que, caso o veículo chegue no ponto de encontro acima de 10 minutos do previsto o cliente não pagará pela viagem. O objetivo é a fidelização do cliente ao serviço.

Não são disponibilizadas gratuidades por ser um transporte complementar ao transporte coletivo convencional. A tarifa fica posicionada entre o transporte coletivo e o transporte individual. O pagamento pode ser realizado através de cartão de débito, crédito ou dinheiro.

O motorista recebe um salário base menor do que o motorista de ônibus convencional e é comissionado a partir da avaliação do usuário. Cerca de 30% da remuneração do motorista é variável. Esta condição de remuneração foi acordada entre HP e o Sindicato da classe e definido no acordo coletivo da categoria.

O CitiBus 2.0 iniciou os serviços com 15 vans e o impacto na mobilidade (estimado) é de 650 carros retirados das ruas. O sistema tem uma capacidade para até 70 veículos operando e foi projetado para ter sustentabilidade a partir de 40% da ocupação total dos veículos. Os primeiros inputs indicam uma demanda crescente e uma avaliação positiva dos usuários do serviço. O nível de atendimento empreendido, acaba por fortalecer o relacionamento e a fidelização dos clientes com a Empresa.

## 6 | CONCLUSÃO

O processo de urbanização, o espraiamento das cidades e o aumento da frota de veículos privados nos centros urbanos, tem como resultado a geração da imobilidade e a proliferação dos conflitos entre os integrantes do ambiente urbano. Neste contexto, restou necessário priorizar meios de transporte que apresentassem uma maior performance no carregamento das pessoas, como o transporte coletivo.

A conjunção de custos crescentes e demanda em queda, provocam tarifas mais altas, que afastam mais passageiros do sistema coletivo e contribuem para

agravar um processo que tende a se tornar crônico e degenerativo. Essa situação, na prática, pode vir a macular o caráter essencial do transporte público, hoje um direito social definido pela Constituição, sua universalidade e qualidade de atendimento.

O Investimento em infraestruturas que aumentem a eficiência do sistema como faixas e corredores exclusivos, criação de redes de transportes mais eficientes, com diminuição da superposição de linhas, ações de combate ao transporte ilegal, custeio das gratuidades, ampliação das formas de pagamento, utilização de sistemas de informação ao usuário e o investimento na qualidade do serviço podem contribuir para a volta dos passageiros pagantes ao sistema de transporte coletivo.

O modelo de financiamento do transporte público no Brasil é sustentado, basicamente, pelo valor da tarifa paga pelos passageiros. Subsídios oriundos dos orçamentos públicos para o transporte coletivo traria benefícios indiretos para os governos, como diminuição do uso do automóvel, redução da poluição e dos investimentos no sistema viário, com consequente aumento da qualidade de vida para os cidadãos.

A busca por soluções diante de um contexto urbano em constante mutação, fomenta o interesse por encontrar formas alternativas de transporte que sejam eficientes. Os aplicativos de transporte individual e de caronas se apresentam como opções já testadas, no entanto, no que se refere ao uso de aplicativos no transporte coletivo sob demanda, ainda teremos que aguardar o seu desenvolvimento.

Após observarmos o funcionamento do serviço coletivo sob demanda e avaliarmos as informações preliminares do CityBus 2.0, podemos concluir que este serviço, pode ser uma ferramenta para dinamizar o transporte coletivo nas cidades, desde que utilizados em microdistâncias, oferecendo aos clientes um menor tempo de viagem e segurança a um custo que fique entre o Transporte coletivo e o transporte individual e, ainda, contribuir para a redução do tráfego de veículos privados, e em consequência a redução de poluição, congestionamentos e acidentes nas vias urbanas. O desafio será compor os interesses individuais com os interesses coletivos, em todas as perspectivas do negócio, seja no ponto, no trajeto, ou na política tarifária.

É necessário ressaltar que o tema deve ainda contemplar mais estudos que contabilizem de forma precisa a redução dos veículos nas vias urbanas e uma análise detalhada dos impactos ecológicos do serviço de transporte público sob demanda.

## REFERÊNCIAS

[1] PAULO, R. F. Crescimento Urbano Desordenado: o papel do Estado e da Sociedade diante dos impactos socioambientais. Porto Alegre: Editora Fi, 2018. 173 p. Disponível em: <<https://www.univem.edu.br/arquivos/Livro%20Rodolfo%20Fares.pdf>>. Acesso em: 05 jun 2019.

- [2] BOARETO, R. A política de mobilidade urbana e a construção de cidades sustentáveis. Revista dos Transportes Públicos – São Paulo: ANTP, 2008, pp. 143-160.
- [3] BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.
- [4, 9] BRASIL. Lei nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Diário Oficial da União, Brasília, DF, janeiro 2012.
- [5] PIRES, A. C. M., PIRES, L. R. G. M., (Orgs.) Mobilidade Urbana: Desafios da Sustentabilidade, 1. Ed. São Paulo, Ponto e Linha, 2016. ISBN 978-85-92835-00-2.
- [6] ANTP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICO, SIMOB - Sistema de Informações da Mobilidade Urbana, Relatório geral 2016. São Paulo: ANTP, 2018. Disponível em: <<http://files.antp.org.br/simob/simob-2016-v6.pdf>>. Acesso em 02 jun. 2019.
- [7, 11, 13] NTU – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, Anuário NTU: 2017-2018 - Brasília: NTU, 2018. 76 p., Disponível em: <https://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub636687203994198126.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.
- [8] Vuchic, V. R., Urban Transit: Systems and Technology. 1. ed. John Wiley & Sons, 2007. ISBN 978-0-471-75823-5.
- [10] CARVALHO C. H. R., Desafio da Mobilidade no Brasil, IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Texto para discussão 2198, Brasília, maio 2016.
- [12] SOUZA JÚNIOR, J. R. de C. et al. Visão Geral da Conjuntura. Carta de Conjuntura, Rio de Janeiro: IPEA, junho 2019.
- [14, 16] CARVALHO C. H. R., PEREIRA, R. H. M., Efeitos da variação da tarifa e da renda da população sobre a demanda de transporte público coletivo urbano no brasil, IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Texto para discussão 1595, Brasília, março 2011.
- [15] CUNHA, O. O Transporte Público à Beira do Colapso, NTU – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, Niterói – RJ, maio de 2018. Disponível em: <http://files.antp.org.br/2018/5/11/ntu-otavio-cunha-v1.5.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.
- [17] BARBOSA, R. S., Migração do transporte coletivo para o individual: como reverter esta tendência? Porto Alegre: DECIV/EE/UFRGS, 2013
- [18] BRASIL. Lei nº 8.987/95, 13 de fevereiro de 1995. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências, Diário Oficial da União, Brasília, DF, fevereiro 1995.
- [19] NTU – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, O transporte público e a nova mobilidade urbana. Brasília: NTU, Abr. 2018a. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=-JH\\_neBQleE](https://www.youtube.com/watch?v=-JH_neBQleE). Acesso em: 02 jun. 2019.

[20] BRASIL. Código de Trânsito Brasileiro (CTB). Lei Nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 que institui o Código de Trânsito Brasileiro. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília: 2007.

[21] NTU – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. Transporte por aplicativo: amigo ou inimigo da mobilidade? Revista NTUrbano, - Brasília: Ed. 36, nov/dez 2018b, Disponível em: <https://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub636831712332404247.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

[22] NÉSPOLI, L. C. M., Um novo pacto pela mobilidade e contra o caos, Revista NTU Urbano, Edição 38, MAR/ABR 2019, Disponível em: <https://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub636946354464368258.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2019.

[23] HSL - HELSINKI REGIONAL TRANSPORT AUTHORITY, Kutsuplus – Final Report. 2016. Disponível em: [https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/8\\_2016\\_kutsuplus\\_finalreport\\_english.pdf](https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/8_2016_kutsuplus_finalreport_english.pdf). Acesso em: 02 jun. 2019.

[24] BRIDJ Pty Ltd. BRIDJ. Disponível em: <https://bridj.com/>. Acesso em: 12 mai. 2019.

[25] TRANSPORT OF LONDON. Demand responsive bus service. Disponível em: <https://tfl.gov.uk/modes/buses/demand-responsive-bus-service#on-this-page-0>. Acesso em: 12 jun. 2019.

[26] IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Goiânia. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/goiania/panorama>. Acesso em: 09 jun. 2019.

[27, 30] HPTCL - HP TRANSPORTES COLETIVOS LTDA, Histórico. 2019. disponível em: [http://www.hptransportes.com.br/iframe/empresa\\_historico.php](http://www.hptransportes.com.br/iframe/empresa_historico.php). Acesso em: 02 jun. 2019.

[28] DIÁRIO DO TRANSPORTE, Transporte coletivo de Goiânia perde 25% dos passageiros, 2017. disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2017/04/24/transporte-coletivo-de-goiania-perde-25-dos-passageiros/>. Acesso em: 02 jun. 2019.

[29] ABDALA, M. R., PASQUALETTO, A., Índice de mobilidade urbana sustentável em Goiânia como ferramenta para políticas públicas. Revista Cadernos Metrópole. São Paulo, v. 15, n. 30, pp. 489-511, dez 2013. ISSN 2236-9996. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2013-3006>. Acesso em: 12 jun. 2019.

# CAPÍTULO 26

## UMA INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE DISPOSITIVOS DA ENGENHARIA DE TRÁFEGO NO SISTEMA VIÁRIO: INTERVENÇÃO NA RUA PADRE AGOSTINHO

Data de aceite: 01/10/2020

**Marcia de Andrade Pereira Bernardinis**

<http://lattes.cnpq.br/7725898343943372>

**Luziane Machado Pavelski**

<http://lattes.cnpq.br/1087830050862886>

**Bruna Marcelli Claudino Buher Kureke**

<http://lattes.cnpq.br/5699832591821879>

**Alana Tamara Gonçalves Molinari**

<http://lattes.cnpq.br/3718883770069667>

**RESUMO:** O presente documento trata de uma investigação da influência de dispositivo da engenharia de tráfego no sistema viário, por intermédio de um estudo de caso da Rua Padre Agostinho, na cidade de Curitiba localizada no estado do Paraná (Brasil). O dispositivo em questão se refere à transformação de vagas de estacionamento, presentes na via, em uma faixa adicional de tráfego. O principal objetivo dessa intervenção é aumentar a fluidez do tráfego de veículos no local. Para tanto, foram realizadas pesquisas com moradores, e condutores de transporte coletivo de um trajeto específico que passa pela área de estudo, para conhecimento da opinião quanto ao dispositivo implantado. Além disso, foi realizada uma pesquisa de campo para a obtenção de informações sobre o local, a velocidade, o fluxo e o volume de veículos referente ao trecho estudado. Este trecho é de elevada importância para a cidade, pois trata-se de um grande corredor viário, utilizado para ligar o centro ao noroeste da cidade. Através

dos estudos realizados constatou-se que as características da via não condizem com as recomendações existentes. Além disso, os resultados mostram que a utilização de faixas com medidas abaixo do recomendado interfere no trânsito, causando diminuição de velocidade e de volume tráfego na via. Além dos problemas visualmente perceptíveis, existe também o desconforto do usuário ao utilizar uma via com essas novas características.

**PALAVRAS-CHAVE:** Engenharia de tráfego, estacionamento, largura de faixa, velocidade, conforto do usuário.

AN INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF TRAFFIC ENGINEERING DEVICES IN THE ROAD SYSTEM: INTERVENTION IN STREET PADRE AGOSTINHO

**ABSTRACT:** The present paper deals with an investigation of the influence of traffic engineering in the road system, through a case study of Rua Padre Agostinho, in the city of Curitiba, in the state of Paraná (Brazil). The device in question refers to the conversion of parking spaces, present on the road, into an additional band of traffic. The main purpose of this intervention is to increase the flow of on-site vehicle traffic. For that, research was conducted with residents, merchants and a collective transportation driver of the region, to know the opinion about the implanted device. In addition, a field survey was carried out to obtain information on the location, speed, flow and volume of vehicles related to the studied section. This stretch is of great importance to the city, as it is a great road corridor, used to connect the center to the northwest of the city. Through the studies

carried out it was verified that the characteristics of the track do not comply with the existing recommendations. In addition, the results show that the use of banners with measures below the recommended one interferes in the traffic, causing decrease of speed and of volume traffic in the way. In addition to the visually noticeable problems, there is also user discomfort when using a route with these new features.

**KEYWORDS:** Traffic engineering, parking, bandwidth, speed, user comfort.

## 1 | INTRODUÇÃO

A verticalização de áreas centrais e o crescimento do número de veículos aumenta consideravelmente a demanda por espaço viário nos grandes centros urbanos. Nesse sentido, um dos grandes desafios da atualidade, com que se deparam os responsáveis pelo planejamento das cidades, é o de melhorar a qualidade de vida nesses locais e atender à exigência gerada pela demanda da população, quanto às suas necessidades de circulação dentro do perímetro urbano. Nesse sentido, o planejamento da mobilidade, tem oferecido cada vez mais soluções que atendam com maior eficiência pedestres, usuários de transporte não motorizados e usuários de transporte público. Apesar disso, para maior eficácia da mobilidade urbana é necessário extrair de cada modo de transporte o melhor desempenho possível, inclusive do modo motorizado, contribuindo para circulação urbana de qualidade.

Para tal intento, são uteis intervenções no sistema de trânsito, de modo a facilitar a circulação, minimizando os efeitos do uso massivo de veículos.

Nesse contexto, existem diversos dispositivos de Engenharia de Tráfego que atuam na melhoria do sistema viário. Um desses dispositivos, que se observa com bastante frequência nas grandes cidades, é a retirada de estacionamento para aumentar a capacidade da via. Embora não seja, nesse tempo, uma ideia inovadora, apresenta características notoriamente importantes na melhoria da fluidez do trânsito.

Alguns desses dispositivos, utilizados como solução, deixam margens de dúvida quanto à sua eficiência. Com a elaboração desse trabalho pretende-se, por intermédio de um estudo de caso, verificar o impacto gerado na substituição de uma faixa de estacionamento por uma faixa de tráfego de veículos e analisar o fluxo de veículos quanto à velocidade média de tráfego com relação à largura das faixas. O referido estudo se deu na Rua Padre Agostinho, grande corredor viário, utilizado para ligar o centro ao noroeste da cidade de Curitiba, no trecho entre as Ruas Alameda Presidente Taunay e Fernando Simas. Nesta investigação a Rua Padre Agostinho foi escolhida, por já existirem estudos de tráfego na mesma, antes e após a retirada da faixa exclusiva para estacionamento, possibilitando a realização de um estudo de forma mais assertiva, com resultados mais próximos à realidade.

## 1.1 Mobilidade urbana nas grandes cidades

A mobilidade urbana e suas implicações têm se configurado como um dos maiores desafios deste século para a sustentabilidade nas cidades. O termo “mobilidade urbana” surgiu a partir da conciliação de alguns fatores: crescimento da cidade, geração de renda, emprego e renovação das estruturas de transporte [5]. A capacidade das principais cidades do mundo de absorver mais carros há muito tempo dá sinais de esgotamento.

No período de 2002 a 2012, a frota de veículos no Brasil teve um aumento significativo de 400%. Esse quadro tem exigido uma nova postura por parte das prefeituras e da sociedade para a busca de soluções [5]. A seguir, na tabela 1, seguem alguns dados referentes a algumas capitais do Brasil.

	Porto Alegre	Rio de Janeiro	Curitiba	São Paulo
População	1.416.714	6.390.290	1.776.761	11.376.685
Frota de Veículos	786.235	2.397.904	1.404.235	6.924.394
Veículos por pessoa	0,6	0,4	0,8	0,6

TABELA 1 - DADOS DE MOBILIDADE DE ALGUMAS CAPITAIS DO BRASIL

Fonte: [3]

Para a cidade de Curitiba, a relação veículo/pessoa tem um valor de 0,8, ou seja, quase um veículo por habitante, o que resulta em efeitos negativos como congestionamentos e poluição devido ao uso excessivo de automóveis. Para se ter uma ideia, como parâmetro de comparação, enquanto no ano de 2012 os transportes coletivos consumiram 25% da energia gasta no transporte urbano, automóveis e motocicletas consumiram 75%, e responderam por menos da metade dos deslocamentos [1]. Entretanto, existem diversos dispositivos de Engenharia de Tráfego que atuam na melhoria do sistema viário. Um desses dispositivos, que vem ocorrendo com bastante frequência nas grandes cidades é a retirada do estacionamento para aumentar a capacidade da via, conforme detalhado a seguir.

## 1.2 Fatores que afetam a capacidade e os volumes de serviço

Alguns fatores podem interferir nas condições naturais de capacidade e volume de serviço e podem ser divididos em categorias. O que diz respeito à largura da faixa tem especial relevância, pois é bastante pertinente ao estudo de caso desta investigação.

Segundo [4], as faixas mais estreitas têm menor capacidade sob condições de fluxos contínuos do que as faixas de 3,60m, aceitas como limite, acima do qual a

capacidade da via não sofre mais acréscimo. Numa via de duas faixas e mão dupla, um veículo, para efetuar ultrapassagem, obstrui a faixa de sentido contrário ao seu por um tempo maior quando as faixas são mais estreitas. Em vias de várias faixas os veículos invadem as faixas adjacentes com maior frequência quando elas são mais estreitas, ocupando duas faixas em vez de uma.

Ainda segundo o mesmo autor, os valores de referência adotados para a capacidade de uma via semaforizada incluindo vários fatores como espaçamento entre os veículos e poder de frenagem é de 1800 veíc/h, por faixa, de 3,5m de largura, plana, bem pavimentada, com tempo bom. Ações como redução na largura de faixas pode ocasionar interferência na capacidade de uma via. Por exemplo, reduzindo-se de 3,5m para 2,5 m, poderá haver o acréscimo de uma faixa. De acordo com [4], a providência de se reduzir a largura das faixas deve ser reservada para casos críticos de falta de capacidade, pois traz desconforto aos motoristas.

### **1.3 Legislações com relação às dimensões de faixas de tráfego**

É de responsabilidade da União, dos estados e dos municípios a regulamentação de largura mínima para faixas de tráfego. Apesar disso não existe uma lei que forneça obrigatoriedade da largura das faixas. O [2] determina que a resolução nº 236 forneça validade legal ao capítulo de sinalização horizontal do manual brasileiro de trânsito, que determina 2,5 metros a largura mínima para uma faixa, porém no texto este dado aparece apenas como uma recomendação, o que cria margem de dúvidas quanto à interpretação e não torna a resolução obrigatória.

## **2 | METODOLOGIA**

A área de estudo se localiza na Rua Padre Agostinho, no trecho entre as Ruas Presidente Taunay e Fernando Simas. Trata-se de uma via de fluxo intenso, com grande circulação de ônibus de transporte público- mini ônibus e ônibus convencional -, que liga o centro a um bairro extremo da cidade. Quando havia a faixa exclusiva para estacionamento, ela possuía 2,28m de largura.

Atualmente a via possui quatro faixas de tráfego, com largura média de 2,33m, que vão em direção ao Bairro. Em 2002 foi realizada uma pesquisa de contagem de tráfego. Em 2006 a mesma pesquisa foi realizada pela Diretoria de Trânsito - Diretran (antigo órgão substituído pela Secretaria Municipal de Defesa Social e Trânsito - SMDT). Essas pesquisas foram utilizadas como parâmetro de comparação com os dados coletados em campo, como apresentado a seguir na caracterização da via.

### **2.1 Caracterização da via no ano de 2008**

Em 2008 houve a mudança das faixas de rolamento da Rua Padre Agostinho,

a faixa específica para estacionamento foi modificada tornando-se uma faixa adicional de tráfego. A largura atual das faixas são de 2,34m, 2,25m, 2,43m e 2,31m. Também houve a instalação de um semáforo na interseção com a Rua Alameda Presidente Taunay.

## 2.2 Levantamento de dados

Foram coletados em campo todos os dados necessários para a realização da pesquisa como:

- Pesquisa de Contagem Volumétrica (2h) – foi realizada no mesmo dia e horário das pesquisas anteriores, em uma terça feira das 17h às 19h (período de duas horas), a fim de incluir dados ao trabalho, e fazer comparação entre as contagens de 2002 e 2006 realizadas pelo Instituto Bonilha e pelo Diretran.
- Pesquisa de Contagem Volumétrica (15min) – a fim de conhecer a atual realidade do volume de veículos que trafegam diariamente na Rua Padre Agostinho, foi realizada uma pesquisa em uma terça feira às 17h e 40min por um período de 15 minutos na Rua Padre Agostinho com as ruas Alameda Presidente Taunay e Fernando Simas.
- Pesquisa de velocidade média de tráfego – Velocidade média que o veículo leva para percorrer um trecho em um determinado tempo. Os trechos percorridos foram os seguintes: Rua Padre Agostinho e Rua Martim Afonso, entre as ruas Alameda Presidente Taunay e Fernando Simas. A Rua Martim Afonso também foi pesquisada para tornar possível a comparação com as velocidades obtidas na Rua Padre Agostinho.
- Entrevistas – Foram realizadas seis entrevistas com moradores da região, nove comerciantes e um motorista de ônibus (transporte público), a fim de se obter dados da via, e fazer a comparação do antes depois da retirada das vagas de estacionamento. As perguntas eram diferentes em quantidade e conteúdo conforme o tipo do entrevistado, porém todas basicamente possuíam o intuito de captar a percepção dessas pessoas sobre acidentes, sinalização e mudanças observadas.

## 3 | RESULTADOS

Como já mostrado no item 2, a contagem volumétrica do ano de 2002, Instituto Bonilha, resultou um valor de UCP igual a 1994 veículos/hora. Em 2006, Diretran, a contagem resultou em um valor igual a 3030 veículos/hora. A última pesquisa, realizada pelas autoras do trabalho, resultou em um valor UCP igual a 3654 veículos/hora. Através dos resultados mencionados acima, pode-se perceber um aumento de 45,4% de veículos que passam no trecho em estudo, entre os anos de 2002 e 2013, o que é muito significativo.

Quanto aos resultados de velocidade média, obteve-se para a Rua Padre Agostinho 57 km/h, velocidade essa inferior a desejável de 60 km/h. Já na Rua Martim Afonso, a velocidade média dos veículos resultou em 72km/hora, o que significa que os veículos trafegam com 20% a mais de velocidade se comparado com a Rua Padre Agostinho, que possui o mesmo número de faixas, entretanto mais estreitas. Com as medições e o paralelo comparativo realizado com a rua Martim Afonso contatou-se que apesar da ação de retirada de uma faixa de estacionamento a favor de um número maior de faixas de tráfego ser uma medida adotada em função de melhorar o fluxo de veículos o resultado foi diferente do esperado, pois a largura fora dos padrões mínimos recomendados gerou nos motoristas receio a ponto de diminuir a velocidade por segurança.

Já com relação às entrevistas feitas, o que mais se destacou foi o questionamento sobre as mudanças percebidas na via depois da inclusão da nova faixa: diminuição da velocidade do tráfego, aumento do número de veículos, diminuição do conforto e dificuldade para estacionar. Dentre esses aspectos o que teve maior impacto foi a dificuldade para estacionar citada por 50% dos entrevistados. 42% dos entrevistados consideraram a mudança ruim e também foi citado o desconforto causado pela pouca distância entre as faixas. Destacou-se também a dificuldade diária do motorista de ônibus em realizar uma direção defensiva sendo a via tão estreita, a situação também foi apontada por comerciantes e moradores como causa de pequenos acidentes.

## 4 | CONCLUSÕES

Pode-se verificar com este trabalho que os problemas de mobilidade ocorrem em todo o mundo. Cada região possui características que proporcionam soluções que lhe cabem melhor, assim, todo estudo referente ao tráfego deve ser afunilado de tal forma que tragam os resultados mais favoráveis possíveis para o local.

Os resultados comprovaram que a intervenção na via não trouxe o resultado satisfatório seguidos a sua implantação. Apesar de acrescentar uma faixa, a via não tem a mesma eficiência que a Rua Martim Afonso, que possui características semelhantes, mas com a diferença de possuir faixas mais largas. Através dos estudos chegou-se a conclusão de que a Rua Padre Agostinho deveria ser redimensionada. Ao invés de ter quatro faixas, o melhor seria ter três faixas com aproximadamente 3m de largura cada, trazendo mais conforto aos motoristas, comportando os veículos de maior porte adequadamente e com aumento na velocidade média. A solução apontada poderia ainda ser combinada com a implantação de uma ciclofaixa, com a finalidade de favorecer a eficiência da via tanto para o transporte motorizado quanto para o transporte não motorizado.

Outras alternativas, mas que requerem estudos específicos seriam:

- Redimensionar as quatro faixas já existentes, avançando sobre o perímetro dos passeios;
- Criar uma faixa mais larga e exclusiva para os veículos de maior porte;
- Incentivos econômicos e facilidades de crédito para a população para a compra de veículos de menor porte.

É preciso levar em consideração que as mudanças no tráfego são constantes, portanto, não é recomendado se ater apenas a implantação de uma única medida para melhoria da circulação do tráfego na área. É necessário combinar as técnicas oferecidas pela engenharia de tráfego com o planejamento urbano, visando um resultado compatível com as necessidades locais e com o tipo de mobilidade que se pretende promover.

## REFERÊNCIAS

- [1] ANTP (2012). Associação Nacional de Transporte Público. Disponível em: <<http://www.antp.org.br/>>. Acesso em: 10/11/2017.
- [2] CONTRAN (2007) Manual Brasileiro De Sinalização - Volume IV- Sinalização horizontal, cap 5. Resolução 236/ 07.
- [3] MOBILIZE. Dados de mobilidade. Disponível em: <<http://www.mobilize.org.br/acompanhe-a-mobilidade/default.aspx?cidade=4>>. Acesso em: 12/11/2017.
- [4] NETO, J. C.; Notas De Aula (1 e 5). Disponível em <[http://meusite.mackenzie.com.br/professor\\_cucci/aulas.htm](http://meusite.mackenzie.com.br/professor_cucci/aulas.htm)> Acesso em: 02/11/2017.
- [5] REBOUÇAS, F.; Mobilidade urbana. Disponível em <<http://www.infoescola.com/transporte/mobilidade-urbana/>> Acesso em: 04/11/2017.

# CAPÍTULO 27

## A PARTICIPAÇÃO DA MULHER NOS CURSOS DE ENGENHARIA DA UFERSA: UM ESTUDO DE CASO NO CAMPUS MOSSORÓ

Data de aceite: 01/10/2020

**Camila Gabrielly Fernandes de Souza**

Universidade Federal Rural Do Semiárido  
UFERSA  
Mossoró

**Maria Aridenise Macena Fontenelle**

Universidade Federal Rural Do Semiárido  
UFERSA  
Mossoró

e engenharia que estão cursando, também analisou se elas enfrentam ou enfrentaram preconceito de gênero.

**PALAVRAS-CHAVE:** Engenharia. Ensino Superior. Mulheres.

**ABSTRACT:** This article is a descriptive case study developed at the Federal Rural University do Semi-Árido, on the Mossoró campus, where bibliographic research was used that guided the focus of this work, in addition to the analysis of data made available by the School Registration Division (DRE) of the Mossoró Campus, in order to observe female participation in the various engineering courses of the University between the years 2011 to 2018. The second moment focused on the realization of a questionnaire evaluation with three questions asked to students of engineering courses at UFERSA, with the objective of observe the reasons that led these women to choose the engineering in which they are inserted. What if was able to see at Campus Mossoró, it is the largest entry of women in Chemical Engineering. In contrast, Civil Engineering is the course with the highest number of graduates. The qualitative part of this study, presented the reasons that made the interviewees choose and engineering that they are studying, also analyzed if they face or faced gender bias.

**KEYWORDS:** Engineering. University Education. Women.

### 1 | INTRODUÇÃO

A universidade muitas vezes é tida como

um lugar de diversidade, resistência e lutas. Para as mulheres, isso é mostrado através de sua conquista ao conseguir adentrar em áreas que sempre foram tidas como masculinas, como é o caso das engenharias. Foi observado nos últimos anos a crescente participação feminina nessa área. De acordo com pesquisas de [1], houve um aumento considerável na composição de mulheres entre os engenheiros no Brasil. Este percentual que em 1970 era de 4% passou para 14% no ano de 2009. Embora seja um percentual significativo, as mulheres ainda são minorias nessa área.

Dentre os fatores que influenciam essa desigualdade entre os gêneros nas áreas de exatas, está a questão cultural, já que algumas atividades de âmbito intelectual geralmente são associadas aos homens, principalmente quando se trata de cálculos, pois as mulheres, em sua maioria, estão relacionadas às profissões que lidam com o cuidado das pessoas, como a saúde, ou em áreas de humanas e educação. Essa desigualdade entre os gêneros muitas vezes tem uma explicação machista que considera uma adaptação natural dos homens às ciências exatas, enquanto a área de humanas seria mais facilmente assumida pelas mulheres [2].

É nesse sentido que [3] aponta um estereótipo masculinizado nesse campo de atuação profissional que, por vezes, parece impor uma dinâmica de conduta estabelecendo uma limitação para as estudantes e profissionais da área. Desta forma, a entrada de mulheres em algumas áreas da engenharia é repleta de empecilhos, podendo limitar tanto seu desenvolvimento profissional quanto o acadêmico.

Desse modo, a engenharia ainda é vista como a profissão com formação acadêmica onde a masculinidade está enraizada em sua essência. Ainda é comum referir-se à engenharia como uma profissão para homens; a decisão por entrar em um curso de engenharia ainda significa para a mulher entrar em um território masculino [4].

Baseado nessas afirmações e considerando a ausência de debates e discussões que envolvem a questão de gênero dentro do curso de Ciência e Tecnologia, visto que esse tema é mais estudado em cursos de humanas, foi que surgiu o interesse em analisar e entender as opções femininas pela engenharia.

Desse modo, o presente artigo trata-se de um estudo de caso com as estudantes de engenharias da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, campus Mossoró, com o objetivo de analisar quais os cursos de Engenharia de maior e menor interesse das mulheres e quais fatores as influenciam a optarem por determinadas áreas em detrimento de outras.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Surgimento da engenharia

A engenharia, tal qual é conhecida na atualidade, um conjunto sistematizado de conhecimentos científicos que se aplicam à construção em geral, é relativamente recente, podendo-se dizer que data do século XVIII. Do mesmo modo, a profissão de engenheiro, pessoa diplomada e habilitada a exercer atividades de engenharia data da segunda metade do século XVIII. Porém, quando considerada como a arte de construir, é tão antiga quanto o homem [5].

Para [6], o homem começa a “engenhar” quando começa a manipular grandes blocos de pedra, já que para se realizar tal tarefa seria necessário não só o uso da força, mas principalmente da inteligência.

Reconheceu-se que a engenharia é uma profissão que busca resolver problemas e criar soluções, no coletivo, para o bem-estar e a qualidade de vida da sociedade. Que dentro de suas especificações abrange finalidades diferentes, cada qual com suas atribuições, conforme os conselhos federais de engenharia, de tal sorte a possibilitar o engenheiro trabalhar de forma regularizada junto à população.

O primeiro engenheiro de quem se tem registro foi Imhotep, no Egito, que ficou famoso após projetar a primeira Pirâmide do Egito - a pirâmide de Saqqara que foi erguida para o sepultamento do Faraó Djoser, durante o século XXVII a.C.

No Brasil, de acordo com [7], o exercer do ofício do(a) engenheiro(a) tinha, inicialmente, o objetivo de atender a arte militar, sendo utilizada pelo Estado como meio de segurança e repressão. Somente a partir do último quartel desse século passou a ser utilizada para implementar melhorias na infraestrutura social, unindo-se à produção básica agroexportadora, solidificada na produção e comercialização do café nos mercados nacionais e internacionais. Isto foi possível devido à acumulação capitalista em todas as etapas do ciclo do café, gerando a necessidade de melhorias na infraestrutura urbana, tal como serviço de iluminação, instalação de indústrias, hidrelétricas, transporte, saneamento básico e edificações em geral [7].

Pode-se dizer que o desenvolvimento da Engenharia desde a antiguidade, passa pela necessidade de homenagear deuses ou grandes vitórias e também pela ação militar. As tecnologias que surgiram para a guerra impulsionaram uma nova arquitetura e muralhas mais resistentes, uma vez que o “poder de fogo” aumentou consideravelmente. E, obviamente, tanto a construção civil quanto a arte da guerra exigiram uma mão de obra especializada em tais tecnologias.

Já [8] apresentam um breve histórico da Engenharia para a compreensão das relações de gênero que se estabelecem nesse campo, denotando que, no Brasil, ela surge com o objetivo de atender a arte militar e, que somente a partir do final do século passado, ganha força na implementação de melhorias na infraestrutura social.

A constituição da profissão é, nesse sentido, permeada pela guerra, instrumento de segurança e repressão (e às tecnologias e os processos de gestão que as envolvem), bem como, a formação para cargos de comando, o que denota um perfil profissional estereotipado para o masculino. Esse processo histórico produziu a necessidade de enfrentamentos para as mulheres que adentraram a essa área do conhecimento, havendo a necessidade de se estabelecer um rompimento de valores que discriminam mulheres em carreiras socialmente entendidas como masculinas. Tais mulheres, para conduzir suas escolhas profissionais e sustentá-las, precisaram romper com padrões sociais cristalizados em relação a gênero, tanto no âmbito familiar, nos espaços educacionais como no mercado de trabalho [2].

## 2.2 Mulheres e a engenharia

Um dos setores que vem apresentando um aumento paulatino da atividade feminina é a engenharia, que tem se tornado mais heterogênea, não mais se restringindo apenas à permanência masculina [9] e [10]. De acordo com as pesquisas de [1], houve um aumento considerável na composição de mulheres entre os engenheiros no Brasil. Este percentual era de 4% em 1970 e em 2009 atingiu o índice de 14%. A entrada da mulher na área da engenharia é um rompimento de padrões, já que essa carreira sempre foi considerada como predominantemente masculina.

Já [2] aponta que é inegável o avanço no que concerne ao aumento de mulheres nos cursos de Engenharia, porém, ainda é comum identificar esta como uma área masculina, com uma crença de que os homens têm uma tendência natural para as Exatas, pois desenvolvem melhor o raciocínio lógico, enquanto as mulheres se adaptam mais facilmente às Ciências Humanas por suas características apoiadas na maternidade e na sensibilidade. De acordo com [11], as profissões que, em sua maioria, são escolhidas pelas mulheres são as com menor reconhecimento social e menor remuneração no mercado de trabalho.

Segundo [12], as diferenças são apresentadas inicialmente nos discursos dos pais, que dizem que esta área não é para mulheres. Essas barreiras não são totalmente destruídas na graduação ou depois. Como o trabalho doméstico ainda está ligado às mulheres, o estilo de vida dificulta a inserção delas na área, pois há uma exigência de total dedicação, onde elas são obrigadas a abdicar a vida familiar.

As carreiras de engenharia estão entre as profissões que exigem formação acadêmica onde se inscreve mais fortemente a marca da masculinidade. Observamos que adentrar-se em um território masculino pode implicar em deixar para segundo plano o que se entende como características das “verdadeiras mulheres”. Muitas delas acreditam que, para obter os saberes e habilidades necessárias na engenharia, é preciso desenvolver um trabalho mais penoso que o dos homens [4].

O caminho profissional de mulheres que adentram a área tecnológica é um trajeto árduo, repleto de desafios e enfrentamentos, onde encontram uma série de resistências, na conquista de espaço e respeitabilidade profissional [1].

A engenharia é caracterizada como uma profissão dura, fria, lógica, com necessidade de liderança e grande habilidade de cálculos. Para muitos, esses pré-requisitos estabelecidos não podem ser demonstrados nas mulheres, perpetuando assim, a ideia de que a engenharia é uma profissão destinada a homens. Segundo [13], alguns setores dessa área, por serem considerados “redutos masculinos”, apresentam fatores que tendem a dificultar o trabalho das engenheiras. A realização dos trabalhos exige esforço no sentido de superar uma discriminação que muitas mulheres não estão dispostas a enfrentar fazendo com que as engenheiras se voltem mais para trabalhos internos em escritórios e laboratórios, deixando para os homens as atividades voltadas para o campo (canteiro de obras).

De acordo com [14]: “Nenhum destino biológico, psíquico, econômico define a forma que a fêmea humana assume no seio da sociedade; é o conjunto da civilização que elabora esse produto intermediário entre o macho e o castrado que qualificam de feminino”. Dessa forma, a sociedade define o gênero de cada ser humano e isso não pode ser tomado como algo natural, mas sim definido socialmente. A filósofa tenta desconstruir essa ideia de natural e busca a igualdade entre os gêneros, demonstrando que mulheres e homens devem ter os mesmos direitos.

Apesar de todas as lutas e barreiras já vencidas, a engenharia segue sendo vista como uma profissão masculina. Desse modo, ao escolher a engenharia como profissão, significa dizer que as mulheres quebram normas na conquista pelo seu espaço, e principalmente por respeito quanto pessoa e profissional preparada para exercer a carreira que deseja seguir, ultrapassando assim, as várias limitações impostas na luta por sua representatividade

Por outro lado, [15] aponta uma grande criação de novas áreas na engenharia disponibilizadas à sociedade, o que para ela sinaliza a continuidade do processo de especialização. Entretanto, com as novas segmentações no ensino da engenharia, por meio do desdobramento das antigas áreas, ocorreram diversificações nas escolhas tanto masculinas como nas femininas.

Segundo [16], a atuação feminina começou a ganhar visibilidade, e os corredores das universidades antes compostos apenas por homens, começam a ‘abrir’ caminhos para a presença feminina, no entanto para a autora o problema ainda não havia sido resolvido, pois a desigualdade de gênero ainda era muito presente nas diferentes áreas do saber.

Para [17]: “todas as engenharias vêm apresentando um aumento paulatino da procura feminina a cada ano; inclusive, nas engenharias onde o interesse feminino possui um percentual baixo, pôde-se observar uma inserção tímida, porém

constante”.

### 2.3 Ingresso das mulheres na universidade

Uma das reivindicações do movimento feminista é a inserção das mulheres na educação e no mercado de trabalho, forma de promover a emancipação feminina.

As mulheres tinham um ensino limitado à sua vocação “natural”: sua família. Elas eram proibidas de frequentar lugares públicos, entrar em bibliotecas, universidades, publicar resultados de suas pesquisas ou discutir em posição de igualdade sobre seus conhecimentos com os cientistas. Muitas produziam conhecimento em laboratórios dentro de seus lares e os resultados de seus estudos eram divulgados com nomes de seus irmãos, pais ou maridos ou algum outro representante masculino, pois aos homens era permitido produzir conhecimento científico. Algumas usaram pseudônimos masculinos para poder comunicar-se com outros cientistas, serem ouvidas e respeitadas. Outras foram criticadas, discriminadas, perseguidas, humilhadas por estarem transgredindo regras que eram rigidamente impostas às mulheres da época [18].

A inserção das mulheres no Ensino Superior representa avanços nas esferas públicas e privadas, redimensionando o espaço feminino tanto no ambiente profissional quanto no familiar. Não foi por acaso que o direito das mulheres à educação fez parte das primeiras reivindicações feministas. No Brasil, a inserção do ensino feminino ocorreu mais tardiamente, apenas no final do século XIX. A primeira mulher a ingressar na universidade no Brasil, foi no estado da Bahia no ano de 1887, formando-se pela faculdade de medicina. As mulheres no Brasil só foram autorizadas a frequentar um curso superior no ano de 1879 por Dom Pedro II, então Imperador do Brasil [19].

As mulheres estão adentrando mais na Educação Superior que os homens, e isso, representa avanços no que se refere ao espaço social que ocupam, e como nas Engenharias, esse espaço se constitui de avanços e recuos. Segundo os dados do Censo da Educação Superior de 2017 realizados pelo Ministério da Educação – MEC, as mulheres representam 55,2% dos estudantes ingressantes em cursos de graduação. Se o recorte for feito por concluintes, o índice é de 61,1% [20].

É evidente que existe um processo de ampliação da inserção da mulher nas mais diversas áreas do conhecimento, o que possibilita a quebra de paradigmas estabelecidos no que se refere às escolhas profissionais, no entanto, o aumento do ingresso das mulheres no ensino superior não significou necessariamente a equidade de gênero, pois apesar da igualdade de oportunidade de ingresso, o sistema de ensino trata diferente os homens e as mulheres. Isso ocorre, pois os cursos nos quais elas são maioria são considerados femininos, como a enfermagem e o serviço social. Já nos cursos considerados masculinos, as poucas mulheres que

adentravam esse território encontravam um ambiente hostil, tanto na sua formação quanto na atuação profissional.

Sabe-se que hoje a mulher não tem como desafio apenas ingressar na universidade, mais sim o de ingressar em áreas predominantemente masculinas e construir uma trajetória acadêmica em condições de igualdade [19]. A entrada das mulheres nos cursos de engenharia configura uma luta contra as barreiras sociais e as desigualdades de gênero no meio acadêmico.

O espaço que as mulheres estão ocupando nas Universidades e em profissões reconhecidas socialmente como masculinas, permite que elas se coloquem em outro patamar frente as relações de poder-subordinação, e no seu direito de guiar, de modo autônomo, sua carreira profissional, sua vida pessoal e seus ganhos financeiros. Esse novo cenário em que a mulher se encontra, tende a levar ao seu empoderamento, ocorrendo através do rompimento de padrões e a sua inserção em locais antes inalcançáveis.

De acordo com [21], o empoderamento das mulheres representa um desafio às relações patriarcais e à manutenção dos privilégios dos homens, pois pode levar ao desempoderamento do homem. Ora, significa, efetivamente, mudança na dominação tradicional dos homens sobre as mulheres, assegurando a estas, certo grau de autonomia no controle dos seus corpos, da sua sexualidade, das suas opiniões e do seu direito de ir e vir. A aspiração de autonomia das mulheres, vinda do feminismo ou não, sem dúvida contribuiu para a reversão das desigualdades de gênero na educação brasileira, entretanto, o sexismo ainda é muito presente nesta [22].

Percebe-se, que mesmo que ainda existam as desigualdades de gênero dentro de Universidades, é inegável que é só através da educação e da quebra de padrões que as transformações sociais serão impulsionadas, oportunizando que mulheres se insiram no mercado de trabalho e, ao adentrarem em locais tidos como masculinos, consigam atribuir um novo olhar a este espaço e a compreensão do mesmo.

## 3 | MATERIAIS E METODOS

### 3.1 Metodologia de estudo

O presente artigo trata-se de um estudo de caso, que segundo [23] é uma história de um fenômeno passado ou atual, elaborada a partir de múltiplas fontes de provas, que pode incluir dados da observação direta e entrevistas sistemáticas, bem como pesquisas em arquivos públicos e privados. É sustentado por um referencial teórico, que orienta as questões e proposições do estudo, reúne uma gama de

informações obtidas por meio de diversas técnicas de levantamento de dados e evidências [24].

Este foi desenvolvido na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, no campus Mossoró, onde utilizou-se de pesquisas bibliográficas que nortearam o foco do trabalho, além da análise dos dados que foram disponibilizados pela Divisão de Registro Escolar (DRE) do Campus Mossoró, com o intuito de observar a participação feminina nos diversos cursos de engenharia da Universidade entre os anos de 2011 a 2018.

O segundo momento teve como foco a realização de um questionário avaliativo com três perguntas, a seguir, direcionadas as mulheres pertencentes aos cursos de engenharia da UFERSA, com objetivo de observar os motivos que levaram essas estudantes a escolherem a engenharia em que estão inseridas.

1. Qual Engenharia você cursa?
2. Quais motivos te fizeram escolher a engenharia em que está cursando?
3. Qual dificuldade enfrenta durante o curso de engenharia escolhido por ser mulher?

O estudo assume um caráter quantitativo e qualitativo e os dados coletados serão apresentados em forma de gráficos e tabelas.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apesar dos cursos de exatas terem a tradição de serem dominados pelos homens, principalmente a engenharia, a participação feminina nesse setor vem aumentando consideravelmente ao longo dos anos.

Observou-se que, de fato, elas têm ingressado no Ensino Superior e vêm ampliando seu ingresso nos cursos e em áreas tidas como masculinas. A tabela 1 representa a quantidade de homens e mulheres que ingressaram nos cursos de segundo ciclo ofertados na Universidade Federal Rural de Semi-Árido (UFERSA), Campus de Mossoró, entre anos de 2011 a 2018.

ENGENHARIA CIVIL		ENGENHARIA ELÉTRICA		ENGENHARIA MECÂNICA	
Ano	Mulheres Ingressantes	Homens Ingressantes	Mulheres Ingressantes	Homens Ingressantes	Mulheres Ingressantes
2011	11	20	-	-	1
2012	25	37	-	1	8
2013	24	36	-	-	10
2014	18	43	-	1	7
2015	27	33	2	17	12
2016	21	40	13	41	12
2017	32	28	18	44	12
2018	23	39	14	47	9
<b>TOTAL</b>	<b>181</b>	<b>276</b>	<b>47</b>	<b>151</b>	<b>71</b>
					<b>310</b>

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO		ENGENHARIA QUÍMICA	
Ano	Mulheres Ingressantes	Homens Ingressantes	Mulheres Ingressantes
2011	11	2	15
2012	14	7	29
2013	24	18	25
2014	26	26	20
2015	11	19	20
2016	30	30	29
2017	30	28	29
2018	28	32	20
<b>TOTAL</b>	<b>174</b>	<b>162</b>	<b>187</b>
			<b>141</b>

Tabela 1 - Quantidade de homens e mulheres ingressantes nos cursos de Engenharia da UFERSA - Mossoró entre os anos de 2011 a 2018.

Fonte: (Autoria Própria, 2019).

Apesar da crescente inserção das mulheres nos cursos de Engenharia, os dados dos ingressantes ainda mostram uma disparidade entre os sexos, sendo o número de homens superior ao de mulheres matriculadas na maioria dos cursos ofertados pela instituição, reafirmando a ideia de que a Engenharia ainda é uma área majoritariamente masculina.

Se o recorte for feito em relação a quantidade de alunas por curso, o que se pode constatar no Campus Mossoró é o maior interesse das mulheres nas Engenharias Química, Civil, e Produção, como mostra o gráfico 1. No entanto, a Engenharia Mecânica e Elétrica tem um percentual muito baixo, reafirmando a associação das áreas com o gênero.

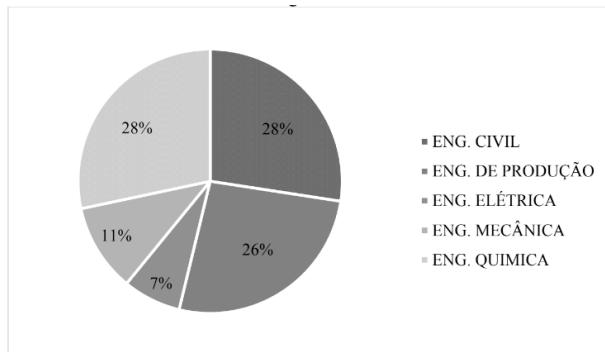


Gráfico 1 - Percentual de alunas ingressantes entre os anos de 2011 a 2018.

Fonte: (Autoria Própria, 2019).

O que a literatura traz, é que o ingresso das mulheres na engenharia, além de conter o desafio próprio do início da história profissional, está permeado pelos confrontos de gênero, uma vez que ainda persiste uma demarcação das áreas em que elas se encontram presentes, tanto no campo escolar como no profissional incluindo a posição hierárquica ocupada por elas nas empresas. Dessa forma, a ordem de gênero, transversal à engenharia, classifica/reclassifica e hierarquiza áreas de conhecimento e áreas de trabalho, atividades, atribuições e posições hierárquicas como mais ou menos masculinas e femininas, e as valoriza de forma diferente [15].

A força da representatividade feminina em novos espaços é fundamental para quebrar os estereótipos de gênero que estão tão enraizados na nossa construção social desde a época escolar. A qualificação pode abrir as portas de mercados antes frequentados só por homens, mas ainda é preciso lutar por reconhecimento e direitos para as mulheres nesses espaços.

A tabela 2 sintetiza a quantidade de homens e mulheres que concluíram o curso de Engenharia na UFERSA, campus Mossoró de 2011 a 2018.

Ano	ENGENHARIA CIVIL		ENGENHARIA ELÉTRICA		ENGENHARIA MECÂNICA	
	Mulheres concluintes	Homens concluintes	Mulheres concluintes	Homens concluintes	Mulheres concluintes	Homens concluintes
2011	11	19	-	-	1	16
2012	23	32	-	-	5	42
2013	24	35	-	-	9	35
2014	18	38	-	-	6	29
2015	24	29	1	14	12	34
2016	19	37	8	28	7	38
2017	28	20	4	12	4	12
2018	1	2	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>148</b>	<b>212</b>	<b>13</b>	<b>54</b>	<b>44</b>	<b>206</b>

Ano	ENGENHARIA PRODUÇÃO		ENGENHARIA QUÍMICA	
	Mulheres concluintes	Homens concluintes	Mulheres concluintes	Homens concluintes
2011	11	2	15	4
2012	12	3	29	13
2013	22	13	23	14
2014	23	22	15	14
2015	9	11	18	12
2016	26	15	21	22
2017	7	7	19	18
2018	1	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>111</b>	<b>73</b>	<b>140</b>	<b>97</b>

Tabela 2 - Quantidade de homens e mulheres concluintes dos cursos de Engenharia da UFERSA - Mossoró entre os anos de 2011 a 2018.

Fonte: (Autoria Própria, 2019).

É inegável a força da mulher para estar presente nas universidades brasileiras e se manter nela. Ainda assim, na maioria dos cursos é possível perceber a diferença entre o quantitativo de homens e mulheres, nota-se que somente nas Engenharias de Produção e Química é que o número de mulheres concluintes ultrapassa o de homens.

Porém, em se tratando da comparação feminina de concluintes entre os cursos, a Engenharia Civil é o curso onde mais mulheres se formam, conforme podemos observar no gráfico 2. Entretanto, assim como no ingresso, na Engenharias Elétrica e Mecânica a inserção feminina ainda é muito pequena.

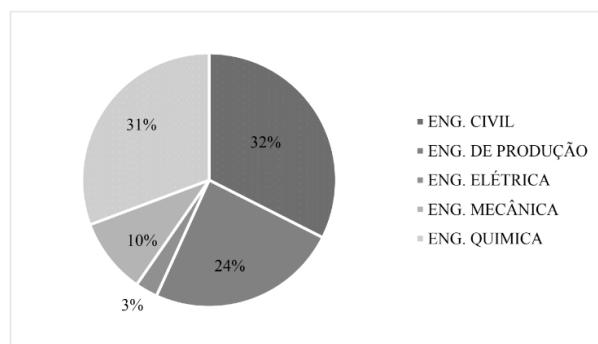


Gráfico 2 – Percentual de alunas concluintes entre os anos de 2011 a 2018.

Fonte: (Autoria Própria, 2019).

Pôde-se observar que o curso com maior ingressantes foi Engenharia Química, porém, na etapa de conclusão quem se destacou foi Engenharia civil, apresentando-se com o maior percentual de alunas formadas em comparação as outras.

Cabe observar que mediante as engenharias ofertadas no Campus Mossoró, o percentual de mulheres cresce significativamente para o curso de Engenharia Civil, que apesar de ser uma engenharia tradicional, e que apresenta a característica de concentrar seus engenheiros em canteiro de obras, vem recebendo uma grande participação da mulher. Esse fato é expressivo, o que mostra uma evolução nesse meio, visto a masculinidade inerente a esse curso, indo assim de encontro a uma igualdade entre homem e mulher.

Após a coleta dos dados quantitativos, foi realizada uma coleta de dados qualitativos, onde se trabalhou com questionários, buscando analisar os relatos das alunas acerca do que as motivou a escolherem a engenharia em que estão inseridas e quais as dificuldades enfrentam ou já enfrentaram na universidade por ser mulher.

Uma das concludentes do curso de Engenharia Civil quando perguntada sobre os motivos que fizeram escolher o curso, ela respondeu o seguinte:

“Os motivos que me fizeram escolher esse curso foram minha aptidão com matemática e física, minha personalidade tímida e o retorno financeiro, pois assim poderia dar uma vida melhor para minha família (já que somos da periferia da cidade e a vida por lá é complicada), além da possibilidade de trabalhar ou fazer mestrado perto da minha família”.

Ela explicou que vez ou outra, ainda se depara com pessoas que acham que o gênero é determinante na capacidade técnica e intelectual das pessoas. Que apesar de ser uma situação desagradável, isso ocorre numa frequência muito baixa.

A segunda aluna relatou que os motivos que a fizeram escolher a Engenharia Elétrica foram as melhores oportunidades oferecidas no mercado ao profissional dessa área, no entanto, a dificuldade que enfrenta está justamente em se inserir no mercado de trabalho:

“Pelo fato de ser mulher algumas empresas não abrem estágio, e outras descartam a possibilidade de contratação”.

Outra aluna relatou que sua opção pelo curso de Engenharia Mecânica se deu pelo fato dela se identificar com a grade curricular e trabalhos em máquinas. Quando perguntado sobre as dificuldades, a aluna disse o seguinte:

“Por se tratar de um curso que tenha mais a presença de homens é notório o preconceito nas empresas, tornando assim mais difícil estágios e até mesmo trabalhos”.

Com relação a Engenharia Química, uma das alunas entrevistadas respondeu que o motivo de ter ingressado nesse curso ocorreu pela afinidade com as disciplinas presentes na grade curricular. Ao ser perguntada se enfrenta ou já enfrentou alguma adversidade no curso por ser mulher, ela respondeu:

"Nenhuma, até porque o curso tem uma predominância feminina. Em CeT que tinha uma certa dificuldade, pois nas aulas práticas, as meninas sempre ficavam com a parte escrita por que eram "melhores nisso", enquanto os meninos faziam a prática".

Sobre o curso de Engenharia de Produção, uma das alunas relatou que inicialmente queria a Engenharia Mecânica, mas com o passar do tempo percebeu que ir para Produção seria melhor, pois além de se identificar com as disciplinas, seria mais fácil arrumar estágio. Ela relatou também que desistiu de mecânica, pois nesse curso as coisas são mais "fáceis" se você for homem. Sobre ter tido alguma dificuldade, ela relatou o seguinte:

"Como falei anteriormente, se fosse na mecânica eu enfrentaria, pois é muito difícil quererem contratar mulheres para estágios nessa área. Mas em produção não enfrento nenhuma dificuldade por ser mulher, inclusive já até arrumei um estágio".

A escolha de uma profissão para a vida toda aos 18, 19 anos de idade nunca foi fácil. Várias foram as motivações que levaram as estudantes à escolha da engenharia como futura profissão, que vão desde a afinidade com as disciplinas, aptidão com os cálculos, à oportunidade de emprego e salário que a área pode oferecer.

Mas, conforme as alunas de Engenharia Elétrica e Mecânica relataram, além de estarem em um curso onde o homem predomina em maior quantidade, também encontram barreiras na hora de conseguir estágios ou empregos, dificuldade essa que as alunas de Engenharia de Produção e Química não enfrentam. Já quanto a Civil, de acordo com os relatos, a área vem acolhendo mais mulheres, embora ainda exista, mesmo que em pouca frequência a ideia de que setor de construção civil ainda é, essencialmente, masculino.

Tais resultados vão ao encontro com os dados coletados no Registro Escolar, onde pode-se observar que continuam a haver Engenharias bastante delimitadas para a atuação feminina, seja em termos de áreas ou em campo, em salas de aula ou emprego.

## 5 | CONCLUSÃO

O estudo sobre a participação das mulheres nas engenharias no campus Mossoró evidenciou que as engenharias que têm a menor participação de mulheres

tanto no ingresso como na conclusão são Engenharia Elétrica e a Mecânica. Um maior número de ingresso feminino encontra-se na Engenharia Química, tendo uma participação de mulheres maior que a de homens. Todavia, o maior número de concluintes se deu no curso de Engenharia Civil.

A parte qualitativa deste estudo, apresentou os motivos que fizeram as entrevistadas a escolherem a engenharia que estão cursando, também analisou se elas enfrentam ou enfrentaram preconceito de gênero.

Todas as engenharias vêm apresentando um aumento considerável da procura feminina a cada ano, inclusive as engenharias onde o interesse feminino possui um percentual baixo, pôde-se observar uma inserção tímida, porém constante. Situações como essa tendem a levar ao empoderamento dessas mulheres, dando-lhe consciência da sua capacidade intelectual e mostrando isso à sociedade.

Muitos cursos que eram considerados essencialmente masculinos ou femininos têm perdido esta característica, expandindo as possibilidades de escolha, em função de lutas coletivas que levaram a conquistas sociais importantes e a constante quebra de preconceitos.

Porém, ainda há muito o que fazer para ter o parâmetro de igualdade, pois ainda se observa episódios de machismo, já que a Engenharia ainda é um setor em que a predominância é do sexo masculino, conforme demonstram os próprios dados. E, mesmo a área já apresentando abertura para a inserção dessas mulheres no mercado de trabalho tem-se muitos desafios ainda a superar, pois normalmente já é estabelecido dentre os critérios de contratação o sexo masculino e não a formação e experiência.

É uma luta ainda não vencida, os dados apresentados pela presente coleta mostram claramente o caminho que ainda existe a ser trilhado. As mulheres ainda têm que conquistar a valorização profissional. E, para isso, devem questionar os papéis atribuídos a elas, bem como reivindicar a participação igualitária dos gêneros na sociedade, além disso, a universidade tem que ser um espaço de ruptura dessa concepção de divisão sexual do trabalho entre masculino e feminino, pois representar a engenharia como profissão característica do gênero masculino acaba por constitui-la como tal, não vai ao encontro do exercício da cidadania e não instrui para a atuação no mercado de trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] TOZZI, Marcos José; TOZZI, Adriana Regina. *A participação das mulheres nos cursos de engenharia do Brasil*. CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXVIII. 2010 Fortaleza. **Anais...** COBENGE Fortaleza, 2010.
- [2] LOMBARDI, Maria Rosa. **Perseverança e resistência: a Engenharia como profissão feminina.** 292 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação. Campinas, 2005

[3] FARIAS, Benedito Guilherme Falcão; CARVALHO, Marília Gomes de. *Mulheres engenheiras: adaptação ao universo masculino*. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL FAZENDO GÊNERO: CORPO, VIOLÊNCIA E PODER, VIII, 2008, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: Instituto de Estudos do Gênero – UFSC, 2008. Disponível em: <[http://www.fazendogenero8.ufsc.br/sts/ST38/Farias-Carvalho\\_38.pdf](http://www.fazendogenero8.ufsc.br/sts/ST38/Farias-Carvalho_38.pdf)>. Acesso em: 10 de nov. 2019.

[4] SARAIVA, Karla. *Produzindo engenheiras*. **Revista de Ensino de Engenharia**, Passo Fundo, v. 27, n. 1, jan./jun., p. 48-56, 2008.

[5] TELLES, Pedro Carlos da Silva. **História da Engenharia no Brasil - séculos XVI a XIX**. v. 1. Rio de Janeiro: Clávero, 1994.

[6] ADDIS, Bill. *Edificação: 3000 anos de projeto, engenharia e construção*. São Paulo: Bookman, 2009.

[7] KAWAMURA, Lili Katsuco. *Engenheiro: trabalho e ideologia*. 2. ed. São Paulo: Ática, 1981.

[8] BAHIA, Monica Mansur e LUDARES, João Bosco. **Opções das mulheres por áreas específicas das engenharias**. COBENGE... 2012. Disponível em: Acesso em: 13 de dez. de 2019.

[9] HIRATA, Helena. **Nova divisão sexual do trabalho? Um olhar voltado para a empresa e a sociedade**. São Paulo: Boitempo, 2002a.

[10] HIRATA, Helena. Globalização e divisão sexual do trabalho. **Cadernos PAGU**, Campinas, n.17- 18, p. 139-156, 2002b.

[11] OLINTO, Gilda. **A inclusão das mulheres nas carreiras de ciência e tecnologia no Brasil**. Inc. Soc., Brasília, DF, v. 5 n. 1, p.68-77, jul./dez. 2011. Disponível em: Acesso em: 11 de novembro de 2019.

[12] VELHO, Lea; LEÓN, Elena. A construção social da produção científica por mulheres. **Cadernos PAGU**, v. 10, p. 309-344, 1998.

[13] CARVALHO, Marília. Gênero e tecnologia: estudantes de engenharia e o mercado de trabalho. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL MERCADO DE TRABALHO E GÊNERO: COMPARAÇÕES BRASIL - FRANCA, 2007, São Paulo e Rio de Janeiro. *Anais...* São Paulo: FCC, 2007.

[14] BEAUVOIR, Simone. **O Segundo sexo**; tradução de Sérgio Milliet. 4 ed. São Paulo: Difusão Europeia do Livro, 1980.

[15] LOMBARDI, Maria Rosa. A engenharia brasileira contemporânea e a contribuição das mulheres nas mudanças recentes do campo profissional. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, n. 2, p. 109-131, 1. sem. 2006.

[16] RAGO, Margareth. Descobrindo historicamente o Gênero. **Cadernos PAGU**. Campinas-SP, Núcleo de Estudos de Gênero-PAGU/Unicamp, n.11, p. 89-98, 1998.

[17] BAHIA, Mônica Mansur; LAUDARES, João Bosco. A participação da mulher em áreas específicas da engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 39., 2011, Blumenau. **Anais...** Blumenau: Cobenge, 2011. p. 1- 9. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2011/sessoestec/art1619.pdf>>. Acesso em: 02 de dez. 2019.

[18] SCHIEBINGER, Londa. **O feminismo mudou a ciência?** Bauru: Editora da Universidade do Sagrado Coração, 2001.

[19] BEZERRA, Nathalia. **Mulher e universidade:** a longa e a difícil luta contra a invisibilidade. Disponível:<<http://www.uece.br/setesaberes/anais/pdfs/trabalhos/420-07082010-184618.pdf>>. Acesso em: 13 de dez. 2019.

[20] INEP. **Dados sobre o Censo da Educação Superior 2017.** Brasilia - DF, 2018. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/setembro-2018-pdf/97041-apresentac-a-o-censo-superior-u-ltimo/file>. Acesso em 12 de nov. 2019

[21] COSTA, Ana Alice. **Gênero, poder e empoderamento das mulheres.** A química das mulheres. Salvador: 2004.

[22] ROSEMBERG, Fúlvia. Políticas educacionais e gênero: um balanço dos anos 1990. **Cadernos Pagu**, Campinas, n.16, p.151-198, 2002.

[23] VOSS, Chris; TSIKRIKTSIS, Nikos; FROHLICH, Mark. Case research in operations management. **International Journal Of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002.

[24] MARTINS, Gilberto de Andrade. Estudo de caso: uma reflexão sobre a aplicabilidade em pesquisas no Brasil. **Revista de Contabilidade e Organizações**, v. 2, n. 2, p. 9-18, jan./abr., 2008.

# CAPÍTULO 28

## INVESTIGATION OF THE MILLING EFFICIENCY OF THE X22CrMoV12-1 STEEL WITH VC AFTER 80 AND 100 HOURS

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 03/07/2020

Carbide; High Energy Ball Milling; Particles Size Analysis.

**Roberta Alves Gomes Matos**

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI  
Itajubá – MG

<http://lattes.cnpq.br/5343820532259748>

**Bruna Horta Bastos Kuffner**

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI  
Itajubá – MG  
<http://lattes.cnpq.br/1598312330444780>

**Gilbert Silva**

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI  
Itajubá – MG  
<http://lattes.cnpq.br/1912171391296662>

**ABSTRACT:** Steels used for aeronautical purposes, such as the X22CrMoV12-1, are normally employed in the production of steam turbines. Studies that evaluate the obtaining of powders of this steel and their characteristics are non-existent. In this research, scraps of the X22CrMoV12-1 steel were subjected to high energy ball milling with the addition of vanadium carbide (VC), in order to obtain powders with granulometry on a submicron and / or nanometer scale. Processing times of 80 and 100 hour were used. The results obtained indicate that, after 80 hours of milling, there is no further decrease in particle size. Only a small increase in the volumetric fraction of the smaller particles is observed.

**KEYWORDS:** X22CrMoV12-1 steel; Vanadium

### INVESTIGAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE MOAGEM DO AÇO X22CrMoV12-1 COM VC APÓS 80 E 100 HORAS

**RESUMO:** Aços utilizados para fins aeronáuticos, como o X22CrMoV12-1, são normalmente empregados na produção de turbinas a vapor. Estudos que avaliam a obtenção de pós deste aço e suas características são inexistentes. Nesta pesquisa, cavacos do aço X22CrMoV12-1 foram submetidos a moagem de alta energia com adição de carboneto de vanádio (VC), com o intuito de obter pós com granulometria em escala submicrométrica e / ou nanométrica. Tempos de processamento de 80 e 100 horas foram utilizados. Os resultados obtidos indicam que, após 80 horas de moagem, não ocorre mais diminuição no tamanho de partículas. Apenas um pequeno aumento na fração volumétrica das partículas menores é observado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aço X22CrMoV12-1; Carboneto de Vanádio; Moagem de Alta Energia; Análise do Tamanho de Partículas.

### 1 | INTRODUCTION

The demand for materials that support operations under high temperatures and high steam pressure, mainly in power generation plants, stimulated the improvement of materials that met these requirements. The efficiency of steam turbines can be improved by increasing

operating pressure and temperature. Therefore, there is a trend in the development of materials with greater efficiency (HU, 2012).

Thus, martensitic stainless steels with chromium content between 9 - 12% have been developed, as they offer the best combination of high creep resistance, high resistance against thermal fatigue, high resistance to oxidation, low cost and good machinability (CLARKE et al., 2003; HALD, 2010; VIGNERON et al., 1988).

X22CrMoV12-1 steel is a stainless steel used as a constituent of steam turbine components. Its creep resistance surpasses that resistance of ferritic and martensitic steels from previous generations. It is used for long periods of work, without any change in its mechanical properties. It happens due to the stability of its microstructure, even in constant contact with overheated vapors, while the high resistance to oxidation is due to its chemical composition (ENNIS & FILEMONOWICZ, 2002).

The remaining scraps of metal products are usually recycled by melting, a process that destroys the microstructure and consumes a substantial amount of energy. On the other hand, if they are transformed into metallic powders by mechanical milling, the amount of energy consumed in the recycling process can be significantly reduced. In addition, the homogeneous microstructure of the original material can be maintained and used in a final product. Beyond these benefits, due to the plastic deformation during machining and milling, it is possible to obtain powder particles with ultrafine structure or nanostructure. Thus, favorable and low-cost sources of powder materials are obtained for the manufacture of metallic materials (LIANG et al., 2014).

High energy ball milling is a technique in which the powders in solid state are processed, under different conditions. It is characterized by repeated welding and fracturing of powder particles against the milling spheres, over high milling speeds. It enables the synthesis of supersaturated, metastable solid solutions, quasicrystalline phases, nanostructures and amorphous steels (SURYANARAYANA, 2004; FURLANI et al., 2014).

The use of carbides during the milling process, such as the vanadium carbide, increases the milling efficiency of metallic materials. It happens because hard particles of ceramic materials help to break down the ductile particles, because it creates a region of concentration of tensions over the interlamellar spacings of these ductile particle. This mechanism accelerates the milling process of metals in general (SURYANARAYANA, 2001).

Given these facts, the recycling of scraps of the X22CrMoV12-1 steel with VC through high energy ball milling appears as an alternative route. In this, the production of powders in submicrometer and / or nanometric scale is objectified, for future uses in industry.

## 2 | MATERIALS AND METHODS

A billet of X22CrMoV12-1 steel with dimensions of 15 x 28.5 mm was machined at low speed to avoid oxidation. The scraps obtained were milled in a Noah Nuoya® NQM 0.25 L high energy ball mill, with speed of 350 rpm, with mass/sphere ratio of 1:10, downtime of 15 minutes/hour and times of 80 and 100 hours. Vanadium carbide (VC) with particles size of 3 - 4  $\mu\text{m}$  was purchased from H. C. Starck®. The percentage of VC addition used in the milling process was of 3 %.

After the obtainment of the powders, the particles morphology and size were defined using scanning electron microscopy (Carl Zeiss® EVO MA 15) and laser granulometry (Microtrac® S3500) tests.

## 3 | RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows the micrographs of the X22CrMoV12-1 steel scraps with VC addition after 80 and 100 hours of milling. As it can be seen in Figure 1a, after 80 hours, the particles assumed morphology mostly rounded, with only a small volume with irregular shape. With respect to the surface, the particles presented rough aspect (SIMS & BROWN, 1998).

Increasing the milling time from 80 to 100 hours (Figure 1b), were not noted differences in morphology or surface. However, it can be observed a higher volume of particles with size between 5 to 1  $\mu\text{m}$ , when compared with the steel milled during 80 hours.

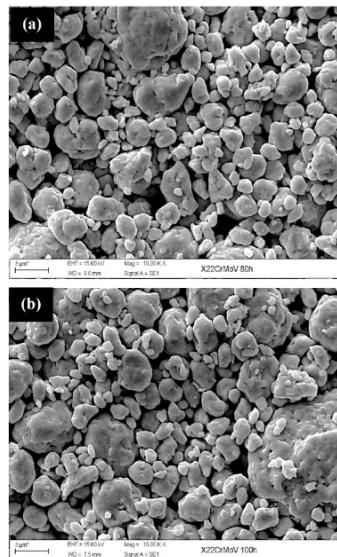


Fig. 1. Micrographs of the X22CrMoV12-1 steel scraps with VC after high energy ball milling during (a) 80 hours (b) 100 hours

This result can be confirmed through the analysis of laser granulometry (Figure 2). The particles size are related according to the volume of particles to different sizes. After 80 hours of milling, it is verified a volume of 24.5 % of particles with size between 100 - 85  $\mu\text{m}$ , 55.7 % of particles with 10  $\mu\text{m}$  and 19.8 % of particles with 3  $\mu\text{m}$ . Increasing the milling time from 80 to 100 hours, it is observed a volume of 13.8 % of particles between 100 - 85  $\mu\text{m}$ , 56.9 % of particles with 10  $\mu\text{m}$  and 29.3 % of particles with 3  $\mu\text{m}$ .

With this, it is noted that, from 80 to 100 hours, the particles did not present reduction in their size. What happens is a small increase in the volume of smaller particles. In the range of 100 - 85  $\mu\text{m}$ , it is noted a reduction of 43.67 % in the volume of particles, which is considered interesting, once that these particles are considered the largest obtained during the milling process. Already for diameter of 10  $\mu\text{m}$ , an increase of 2.11 % in volume of particles was observed. Finally for particles size of 3  $\mu\text{m}$ , 32.42 % of increase in volume was verified.

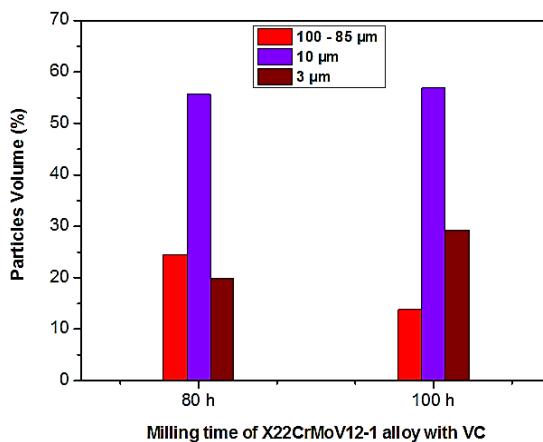


Fig. 2. Granulometric analysis of X22CrMoV12-1 steel with VC after 80 and 100 hours of milling

After both analysis (micrographic and granulometric), it was possible to attest that the use of VC in the milling of the X22CrMoV12-1 steel promoted the comminution of the particles to a submicrometer scale. However, it was not possible to obtain nanoparticles neither with 80 nor with 100 hours of milling.

It proves that milling times above 80 hours are not considered economically viable for production in large scale, once that there are no more reductions in the diameter of the particles, or modifications in morphology or surface. Also, the volumetric fraction that increased from 80 to 100 hours in the smaller particles is not

considered enough to justify the energy inserted in the process. The most significant result found in terms of particles size from 80 to 100 hours was the 43.67 % of reduction in volume of particles with size between 100 - 85  $\mu\text{m}$ .

The absence of more reductions in particles size after 80 hours is due to the fact that, from a certain milling time, the action of the ceramic particle of the carbide under the ductile steel particle stops occurring. Thus, the action of VC over the X22CrMoV12-1 steel is no longer efficient in the ductile-brittle milling system (SURYANARAYANA, 2001; SURYANARAYANA, 2004).

## 4 | CONCLUSIONS

After the analysis of the X22CrMoV12-1 steel with addition of vanadium carbide produced by high energy ball milling, it was possible to observe that from 80 to 100 hours of milling, no significant changes are observed. With this, the time of 80 hours of milling is considered the most appropriate to production on large scale.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the CAPES and the UNIFEI technician support.

## REFERENCES

- CLARKE, P. D.; MORRIS, P. F.; CARDINAL, N.; WORRAL, M. J. **Factors influencing the creep resistance of martensitic alloys for advanced power plant applications.** In: A. Strang, R. D. Conroy, W. M. Banks, M. Blackler, J. Leggett, G. M. McColvin, S. Simpson, M. Smith, F. Starr, and R. W. Vanstone (Eds.), *Proceedings on the 6th International Charles Parsons Turbine Conference*, Maney, Dublin, p. 333-345, 2003.
- ENNIS, P. J.; FILEMONOWICZ, C. A. **Recent advances in creep - resistant steels for power plant applications.** OMNI, v. 1, p. 1-28, 2002.
- FURLANI, E.; ANEGGI, E.; LEITENBURG, C.; MASCHIO, S. **High energy ball milling of titania and titania - ceria powder mixtures.** Powder Technology, v. 254, p. 591-596, 2014.
- HALD, J. **Development status and future possibilities for martensitic creep resistant steels.** In: J. Lecomte-Beckers, Q Contrepois, T. Beck, B. Kuhn, *Proceeding on the 9th Liege Conference on Materials for Advanced Power Engineering*, Liege, Belgium, p. 55-66, 2010.
- HU, Z. F. **Heat - resistant steels, microstructure evolution and life assessment in power plants.** In: Thermal Power Plants. Chapter 10. School of Materials Science and Engineering, Tongji University, p. 195-226, 2012.
- LIANG, J. M.; JIA, M. T.; GUO, X. Q.; ZHANG, D. L.; **Microstructural evolution and microhardness change of Al-7wt%Si-0.3wt%Mg alloy granules/powder particles during high energy ball milling.** Materials Science & Engineering A, v. 590, p. 307-313, 2014.

SIMS, I.; BROWN, B. **Concrete aggregates**. Chapter 16. In: Lea's Chemistry of Cement and Concrete. 4th Edition, Elsevier, Oxford, p. 907-963, 1998.

SURYANARAYANA, C. **Mechanical alloying and milling**. CRC Press, p. 1-488, 2004.

SURYANARAYANA, C. **Mechanical alloying and milling**. Progress in Materials Science, v. 46, p. 1-184, 2001.

VIGNERON, G.; VANDERSCHAEGHE, A.; LECOQ, J. **A metallurgical contribution to the industrial - development of 12% chromium martensitic steels for pressure - vessels**. International Journal of Pressure Vessels and Piping, v. 32, p. 389-413, 1988.

## SOBRE OS ORGANIZADORES

**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**JOÃO DALLAMUTA** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre em engenharia elétrica pela UEL. Doutorando em Engenharia Espacial pelo INPE. Trabalha com os temas: Gestão da Inovação, Inteligência de Mercado e Planejamento de Missões Espaciais.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

- Absorção de água 22, 27, 29, 31, 32  
Acessibilidade 193, 248, 249, 253, 254, 255, 256  
Aço inoxidável AISI 304 124  
Agroindústrias familiares 193, 197, 199, 201  
Agronegócio 203, 205, 206, 207, 208, 210, 211, 212, 215, 216, 217  
AHSS 137, 138, 139, 144, 146  
Alimentos 19, 42, 53, 156, 165, 168, 193, 194, 195, 197, 198, 200, 201, 202, 203, 204, 206, 208  
Alvenaria estrutural 225, 226, 227, 228, 229, 231, 232, 233  
Amazônia 218, 219, 224  
Análise de deformação 124  
Aplicativo 252, 253, 257, 262, 263, 264, 268  
Ataques químicos 137, 142, 143, 144, 146

### B

- Bacaba 148, 149  
Baja 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 242, 245, 246, 247  
Barragem 23, 92, 188, 189, 190, 191, 192  
Biocombustível 177, 178  
Bioenergia 10, 11, 149, 168  
Biomassa 10, 11, 15, 16, 19, 21, 42, 45, 69  
Biotecnologia 19, 186, 205, 206, 207, 209, 210, 211, 215, 216  
Bloco ecológico 22, 26

### C

- Café 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 46, 278  
Calibração 120, 122, 123  
Caracterização 2, 24, 27, 28, 29, 34, 36, 37, 38, 78, 102, 104, 113, 115, 116, 123, 135, 137, 142, 143, 145, 146, 152, 153, 174, 185, 189, 227, 272, 298  
Células solares 94, 96, 148, 149, 150, 151, 152, 153  
Coleta seletiva 1, 2, 3, 4, 5, 6, 50, 54  
Comportamento mecânico 124, 125, 126, 140  
Conforto 26, 56, 59, 64, 77, 78, 257, 259, 264, 269, 274

Correlação digital de imagens 12, 124, 126, 127, 128, 132, 135  
CSSC 148, 150, 151, 152, 153

## D

Deficiência visual 248, 249, 250, 252, 254, 255  
Diâmetro da cepa 218, 224

## E

Eletrofiação 93, 94, 97, 98, 100  
Energia renovável 10, 42  
Engenharia 20, 21, 25, 41, 42, 44, 46, 54, 55, 80, 94, 95, 125, 146, 156, 175, 192, 224, 225, 232, 234, 235, 238, 240, 245, 246, 254, 269, 270, 271, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 298  
Ensino superior 234, 235, 248, 249, 252, 254, 276, 281, 283  
Enzimas ligninolíticas 166, 167, 168, 173  
Estabilidade oxidativa 177, 181  
Estacionamento 269, 270, 271, 272, 273, 274  
Extrato natural 177

## F

Fiscalização 218, 219, 223, 224, 225, 232  
Fluxo de caixa 234, 236, 237, 243, 244, 246  
Fonte de energia 8, 10, 11, 44, 149  
Força 23, 98, 120, 121, 122, 123, 132, 278, 285, 286  
Fungos 19, 156, 166, 167, 168, 169, 173, 180

## G

Gestão 3, 23, 33, 34, 35, 40, 41, 42, 53, 192, 202, 203, 204, 208, 217, 227, 236, 243, 279, 298  
Gestão de resíduos 41, 42

## I

Irrigação 188, 189, 190, 192

## L

Laboratórios de informática 56, 59, 60, 61, 62, 63  
Largura de faixa 269  
Lipases 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 164

## M

- Madeira 16, 22, 66, 67, 68, 69, 70, 78, 79, 166, 167, 175, 224  
Manifestações patológicas 225, 227, 228, 232  
Método das diferenças finitas 80, 92  
Método dos elementos finitos 80  
Microestrutura 124, 126, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 144, 145, 146  
Mineração 22, 23, 24, 25, 32, 33  
Miniônibus 257, 262, 263, 264  
Mitigação ambiental 8  
Mobilidade 102, 108, 110, 116, 117, 235, 248, 249, 253, 254, 257, 262, 264, 265, 267, 268, 270, 271, 274, 275  
Mulheres 276, 277, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291

## O

- Óleo de baru 155, 165  
Óxidos metálicos 102, 103, 104, 113, 117

## P

- Paratransit 257  
Patauá 148  
Patentes 205, 206, 207, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215  
Placas cimentícias 66  
Planejamento experimental 155, 158, 159, 160, 166, 169, 170, 171, 172  
Plano de negócio 235, 236, 242, 243, 245, 247  
Processamento 8, 9, 10, 13, 14, 20, 21, 25, 67, 68, 93, 97, 98, 102, 103, 104, 111, 117, 126, 127, 130, 140, 156, 195, 197, 206, 240, 292  
Produção de Taninos 8

## R

- Rastreabilidade 120, 123  
Resíduo 14, 16, 17, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 40, 47, 151, 152, 157, 177, 179, 180, 181, 183, 184, 185  
Resistência à compressão 22, 27, 29, 31  
Ruído 56, 57, 58, 59, 64, 65

## S

- Salas de aula 3, 56, 59, 60, 61, 62, 63, 288

Saneamento 41, 42, 54, 55, 278  
Segurança alimentar 193, 197, 202, 203, 205, 209, 215  
Semicondutores 95, 102, 104, 150  
Sensores 94, 95, 98, 103  
Shopping Center 34, 35, 36, 41  
Sistema de medição 120, 121, 122, 123  
Smart materials 93, 94, 96, 100  
Soldagem MIG 124  
Sustentabilidade 1, 2, 9, 11, 42, 66, 153, 216, 237, 265, 267, 271

## T

Tecnologias 10, 16, 18, 64, 66, 205, 211, 214, 215, 216, 248, 255, 264, 278, 279  
Temperatura 13, 18, 25, 52, 67, 69, 70, 71, 74, 75, 77, 80, 94, 95, 97, 102, 111, 112, 114, 115, 117, 128, 140, 141, 158, 159, 166, 168, 173, 174, 177, 178, 180, 220, 228, 232, 240  
Tensões térmicas 80, 128  
Termomecânicos 80, 92  
Transistores 102, 104, 105, 108, 111, 116, 117  
Transporte coletivo sob demanda 257, 258, 259, 262, 264, 266  
Tratamento de efluente 166

## V

Vegetação 188, 189, 190, 221  
Veículos off-road 235, 236, 237, 238  
Velocidade 69, 130, 166, 173, 240, 269, 270, 273, 274  
Viabilidade econômica 234, 236, 245, 246

# **Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias 2**

www.atenaeditora.com.br   
contato@atenaeditora.com.br   
@atenaeditora   
www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

# **Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias 2**

www.atenaeditora.com.br   
contato@atenaeditora.com.br   
@atenaeditora   
www.facebook.com/atenaeditora.com.br 