



# ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de  
Caráter Multidisciplinar

4

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Rennan Otavio Kanashiro  
(Organizadores)



# ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de  
Caráter Multidisciplinar

4

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Rennan Otavio Kanashiro  
(Organizadores)

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Girlene 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci 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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
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. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> 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. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
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. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Profª Drª 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  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª 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  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª 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. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lilians 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. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
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. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
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<sup>ª</sup> Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
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:** Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremona  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Rennan Otavio Kanashiro

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

E57 Engenharia: metodologias e práticas de caráter multidisciplinar 4 / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Rennan Otavio Kanashiro. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-889-2

DOI 10.22533/at.ed.892211003

1. Engenharia. I. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. Kanashiro, Rennan Otavio (Organizador). IV. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

## APRESENTAÇÃO

Caro(a) leitor(a)

Como definir a engenharia? Por uma ótica puramente etimológica, ela é derivada do latim *ingenium*, cujo significado é “inteligência” e *ingeniare*, que significa “inventar, conceber”.

A inteligência de conceber define o engenheiro. Fácil perceber que aqueles cujo ofício está associado a inteligência de conceber, dependem umbilicalmente da tecnologia e a multidisciplinaridade.

Nela reunimos várias contribuições de trabalhos em áreas variadas da engenharia e tecnologia. Ligados sobretudo a indústria petroquímica com potencial de impacto nas engenharias. Aos autores dos diversos trabalhos que compõe esta obra, expressamos o nosso agradecimento pela submissão de suas pesquisas junto a Atena Editora. Aos leitores, desejamos que esta obra possa colaborar no constante aprendizado que a profissão nos impõe.

Boa leitura!

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Rennan Otavio Kanashiro

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE FLEXÃO DE VIGAS DE CONCRETO SIMPLES**

Vinícius Borges de Moura Aquino

Marco Donisete de Campos

**DOI 10.22533/at.ed.8922110031**

### **CAPÍTULO 2..... 18**

#### **SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE FLEXÃO DE VIGAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO ARMADO**

Afonso Henrique de Campos Rodrigues

Marco Donisete de Campos

**DOI 10.22533/at.ed.8922110032**

### **CAPÍTULO 3..... 34**

#### **THE USE OF BABASSU COCONUT FIBERS IN THE PRODUCTION OF CONCRETE**

Wilson Alves Oliveira Junior

Maria Elayne Rodrigues Alves

Bruna Leal Melo de Oliveira

João Batista de Oliveira Libório Dourado

Aluska do Nascimento Simões Braga

Valdeci Bosco dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.8922110033**

### **CAPÍTULO 4..... 40**

#### **RECICLAGEM DO POLIPROPILENO PARA OBTENÇÃO DO COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM PÓ DE OSTRAS**

Terezinha Jocelen Masson

Rafael dos Santos Lima

**DOI 10.22533/at.ed.8922110034**

### **CAPÍTULO 5..... 58**

#### **DESMITIFICANDO A RADIOATIVIDADE**

Leandro Soares da Silva

Déborah Vitória de Souza Silva

Eduardo Mendonça Pereira Cavalcanti

Kauã Felipe Santiago

José Allan da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.8922110035**

### **CAPÍTULO 6..... 66**

#### **PROPOSTA DE SILO GRANELEIRO TEMPORÁRIO PARA FAZENDAS DA FRONTEIRA AGRÍCOLA DO BRASIL**

José Roberto Rasi

Jorge Augusto Serafim

Jonathan Figueiredo Broetto

**DOI 10.22533/at.ed.8922110036**



**CAPÍTULO 7.....84**

**USO DE METANOL E ETANOL NO DIAGNÓSTICO DE FALHAS TÉRMICAS ENVOLVENDO PAPEL KRAFT ISOLANTE**

Helena Maria Wilhelm  
Paulo Oliveira Fernandes  
Geovana Carolina dos Santos  
Maria Letícia Gomes dos Santos  
Thatiane Tamyris Kuczera Pereira  
Laís Pastre Dill  
Daniel da Conceição Aroucha Filho  
Marcelo Luiz de Carvalho Ribeiro  
Arley de Paula Mar  
Pedro José dos Santos Junior

**DOI 10.22533/at.ed.8922110037**

**CAPÍTULO 8.....97**

**SÍNTESE E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM COMPÓSITO CERÂMICO ZIRCÔNIA E ALUMINA PARA APLICAÇÃO EM PRÓTESE CRANIOMAXILOFACIAL**

José Victor Passos Santiago  
Viviane Silva Gomide

**DOI 10.22533/at.ed.8922110038**

**CAPÍTULO 9.....108**

**SUITABILITY OF INTERNAL TANK COATINGS FOR AROMATIC HYDROCARBONS STORAGE**

Ulysses Ramos  
Aldo Ramos Santos  
Joaquim Pereira Quintela  
Carlos Rene Klotz Rabello  
Cleber Gonçalves Ferreira  
Emmanuelle Sá Freitas

**DOI 10.22533/at.ed.8922110039**

**CAPÍTULO 10.....120**

**DISEÑO DE UN FALDÓN ESTRUCTURAL CIRCULAR DE APOYO PARA UN SILO METÁLICO CON CAPACIDAD DE ALMACENAR 300 M<sup>3</sup> DE CLINKER**

Luis Orlando Cotaquispe Zevallos

**DOI 10.22533/at.ed.89221100310**

**CAPÍTULO 11.....136**

**DETERMINAÇÃO DE DESCARGAS DE LODO DE REATORES UASB COM PÓS-TRATAMENTO AERADO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS DO EFLUENTE**

Jane Mary Targino Moreira  
Ruam Magalhães da Silva  
Renata Carlos Freire

**DOI 10.22533/at.ed.89221100311**

<b>CAPÍTULO 12.....</b>	<b>147</b>
<b>AVALIAÇÃO DE ÓLEO VEGETAL ISOLANTE OBTIDO DE UMA NOVA FONTE DE MATÉRIA-PRIMA: AS MICROALGAS</b>	
Helena Maria Wilhelm Giorgi Dal Pont Claudio Aparecido Galdeano Eduardo João de Palma Luiz A. Ravaglia	
<b>DOI 10.22533/at.ed.89221100312</b>	
<b>CAPÍTULO 13.....</b>	<b>158</b>
<b>ANÁLISE ESTRUTURAL DO COMPORTAMENTO SÍSMICO DE BARRAGENS DE REJEITO</b>	
Antonio Nilson Zamunér Filho Gabriel Gomes Silva Wellington Andrade da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.89221100313</b>	
<b>CAPÍTULO 14.....</b>	<b>171</b>
<b>ANÁLISE DE TENSÃO E COMPARAÇÃO DE PROCESSO DE FABRICAÇÃO EM ROD END</b>	
Jói da Silva Theis Luiz Carlos Gertz André Cervieri Antonio Flavio Aires Rodrigues Gustavo Pizarro Meneghello	
<b>DOI 10.22533/at.ed.89221100314</b>	
<b>CAPÍTULO 15.....</b>	<b>179</b>
<b>INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE TRATAMENTO TÉRMICO NO DESEMPENHO FOTOCATALÍTICO DE FIBRAS DE TiO<sub>2</sub></b>	
Luana Góes Soares da Silva Annelise Kopp Alves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.89221100315</b>	
<b>CAPÍTULO 16.....</b>	<b>189</b>
<b>EFEITOS DA PIRÓLISE SUAVE EM PELLETS DE <i>Pinus</i></b>	
Nathalia Heloisa Dullius Anderson Rodrigo Heydt Adriana Ferla de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.89221100316</b>	
<b>CAPÍTULO 17.....</b>	<b>197</b>
<b>ESTUDO DE SISTEMAS ISOLANTES DE REFERÊNCIA USADOS NA DETERMINAÇÃO DA CLASSE TÉRMICA DE NOVOS SISTEMAS ISOLANTES SEGUNDO A NORMA IEEE C57.100</b>	
Helena Maria Wilhelm Paulo Oliveira Fernandes	

Leandro Gonçalves Feitosa  
Geovana Carolina dos Santos  
Laís Pastre Dill  
Leonardo Galhardo  
Richard Marek

**DOI 10.22533/at.ed.89221100317**

**CAPÍTULO 18.....209**

**DESENVOLVIMENTO DE MADEIRA PLÁSTICA: COMPÓSITOS HÍBRIDOS  
POLIPROPILENO/PÓ DE MADEIRA/FIBRA NATURAL**

Terezinha Jocelen Masson  
Leila Figueiredo de Miranda  
Antonio Hotêncio Munhoz Junior

**DOI 10.22533/at.ed.89221100318**

**CAPÍTULO 19.....220**

**AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE EXTRATO DE LIGNINA OBTIDO A  
PARTIR DA HIDRÓLISE ALCALINA DA CASCA DE CAFÉ**

Beatriz Leite  
Daniel Vieira Mendes  
Matheus de Souza Santos  
Thiago Wilker Souza do Carmo  
Renata Carolina Zanetti Lofrano  
Boutros Sarrouh

**DOI 10.22533/at.ed.89221100319**

**CAPÍTULO 20.....233**

**ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL COM PROFESSORES E  
ALUNOS, NA ZONA RURAL DO MUNICÍPIO BREU BRANCO-PA**

Beatriz Souza da Silveira  
Enayle Maria de Freitas Silva  
Marcelo Melo dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.89221100320**

**CAPÍTULO 21.....245**

**O BISCOITO ARTESANAL DE VITÓRIA DA CONQUISTA E O SEU POTENCIAL PARA  
REGISTRO COMO UMA INDICAÇÃO GEOGRÁFICA**

Valdir Silva da Conceição  
Dayana Ferraz Silva  
Angela Machado Rocha  
Marcelo Santana Silva

**DOI 10.22533/at.ed.89221100321**

**CAPÍTULO 22.....259**

**EXTENSÃO INTERDISCIPLINAR NAS PRÁTICAS DE CUIDADOS – CENOPOESIA E  
AQUARELA NA SAÚDE MENTAL**

Midiã Kaddja Nunes de Souza

Maria Aridenise Macena Fontenelle

DOI 10.22533/at.ed.89221100322

<b>SOBRE OS ORGANIZADORES .....</b>	<b>273</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>274</b>

# CAPÍTULO 1

## SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE FLEXÃO DE VIGAS DE CONCRETO SIMPLES

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 06/01/2021

### Vinícius Borges de Moura Aquino

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Instituto de Engenharia do Araguaia  
Santana do Araguaia - PA  
<https://orcid.org/0000-0003-3483-7506>

### Marco Donisete de Campos

Universidade Federal de Mato Grosso  
Instituto de Ciências Exatas e da Terra  
Barra do Garças - MT  
<https://orcid.org/0000-0003-4365-0129>

**RESUMO:** A simulação computacional é uma ferramenta acessível e alternativa para se reduzir os custos de execução de ensaios laboratoriais na avaliação da resistência do concreto. Usando o *software Ansys*<sup>®</sup>, o objetivo deste trabalho é a avaliação da resistência do concreto analisando as tensões e os deslocamentos sofridos num ensaio de flexão de três pontos. A validação foi realizada pela comparação com resultados da literatura e, a partir, algumas aplicações foram implementadas. O uso de ferramentas numéricas mostrou-se viável para ensaios de caracterização de concreto simples.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto. Simulação Numérica. Ensaio de Flexão de Três Pontos.

### COMPUTATIONAL SIMULATION OF BENDING IN BEAMS OF CONCRETE

**ABSTRACT:** Computer simulation is an accessible and alternative tool to reduce the costs of carrying out laboratory tests in the evaluation of concrete strength. Using the *Ansys*<sup>™</sup> software, the objective of this work is to evaluate the strength of the concrete by analyzing the stresses and displacements suffered in a three-point flexural test. The validation was performed by comparison with results in the literature and, from there, some applications were implemented. The use of numerical tools proved to be viable for simple concrete characterization tests.

**KEYWORDS:** Concrete. Numerical Simulation. Three Point Flexural Test.

## 1 | INTRODUÇÃO

Por ser o material que apresenta a menor relação entre a resistência e o custo em comparação aos outros que são comercializados, o concreto é amplamente empregado na construção civil. Por isso, metodologias capazes de melhor analisar a sua resistência tem sido frequentemente desenvolvidas e divulgadas na literatura. Por exemplo, Jukic et al. (2014) apresentaram uma análise de falência de concreto armado utilizando a formulação de Método dos Elementos Finitos baseado no modelo de viga de Timoshenko, no qual aço e o concreto comportam-se com um material elastoplástico. Na procura da energia de ruptura do material, uma aplicação de seções planas do

conceito da descontinuidade interna foi realizada. Desta forma, a viga foi modelada com inúmeras camadas de aço e concreto, com comportamentos independentes para sofrer os deslocamentos. A finalidade desta discretização foi o encontrar a falência da seção. Foram utilizadas aplicações numéricas para demonstrar o potencial do modelo para simular a ruptura do material. O número de camadas que a viga foi dividida não influenciou nos resultados desde que foi feita a refinamento da tensão normal à espessura das camadas. Para efeito de consideração, os efeitos de cortante foram desconsiderados na sua parte inelástica, considerando-os elásticos. Já Liu e Quek (2003) utilizou, para problemas dinâmicos, o princípio de Hamilton, um princípio variacional, que diz que de todos os históricos de tempo admissíveis de deslocamento, a solução mais precisa faz o funcional Lagrangiano um mínimo. Este deslocamento deve satisfazer as condições de compatibilidade de equações, condições de contorno essenciais ou cinemáticas e condições de tempo inicial e final. Com isso o Princípio de Hamilton autoriza assumir um conjunto de deslocamentos que satisfaçam as condições listadas acima. Isso dá liberdade de escolha ao sistema e garante também que a solução mais precisa seja governada pela forma forte do sistema de equações. Com isso, a simplicidade do princípio de Hamilton utiliza o uso de quantidades de energia escalares, o que dispensa o uso de valores vetoriais nos cálculos e também a linearidade nas equações a serem derivadas no sistema final de equações. Também Qapo et al. (2016) realizou um estudo, analítico e numérico, de vigas de concreto armado reforçadas com fibras de polímero, avaliando a previsão de aumento da resistência ao cisalhamento incorporando estas fibras ao concreto e o respectivo desvio dessa previsão utilizando o *software* DIANA®. Neste comparativo, o plano de fissuração presente na viga no momento da falha prevista pelo método numérico ficou bem próximo das fissuras presentes na viga na mesma condição de falência da peça. Também a comparação para verificar a precisão do método numérico no tocante a capacidade resistente da peça à força cortante ficou em níveis aceitáveis, variando entre 0,99 e 1,06 a razão entre os resultados numéricos e experimentais. Já Shang et al. (2015), fizeram uma análise unidimensional comparativa da viga de Euler-Bernoulli submetida às cargas dinâmicas com o uso do Método dos Elementos Finitos Generalizado (GFEM) com o acréscimo de monômios e de ordem trigonométrica e exponencial nas equações de formulação de elementos finitos. Também compararam os resultados obtidos pelo GFEM com a formulação convencional de elementos finitos para mostrar o grau de eficiência na resolução da viga de Euler-Bernoulli elástica tão como uma resolução elastoplástica dinâmica. Para esta comparação foi utilizado o *software* Ansys® para a formulação convencional de elementos finitos. Esta comparação mostrou que o GFEM possui erros relativos maiores que a formulação tradicional de elementos finitos, mas o GFEM possui uma maior estabilidade na análise de tensão e deformação na peça submetida a um carregamento dinâmico.

O objetivo deste trabalho é simular numericamente o ensaio de flexão de vigas de concreto simples utilizando o pacote *Mechanical APDL* do *software* Ansys® através da

tração atuante na peça, a tensão resistente do concreto e o deslocamento que a peça foi submetida.

## 2 | METODOLOGIA COMPUTACIONAL

### 2.1 Modelagem Computacional

No *Ansys*<sup>®</sup>, a partir do *software Mechanical APDL*, pode-se modelar o ensaio de flexão de viga de concreto. A criação do modelo analítico no *software* segue os seguintes passos: a modelagem da viga de análise, a inserção das constantes do material, a discretização da área em elementos finitos e a inserção das condições de contorno.

No nosso caso, fez-se o ensaio de flexão de viga de concreto. A tensão de interesse é a tensão normal. Portanto, tendo em vista a hipótese das seções planas, o ensaio foi modelado em duas dimensões, não causando prejuízo à fidelidade do ensaio experimental. Para isso, ao decorrer da modelagem, impôs-se no *software Ansys*<sup>®</sup> a condição de tensão plana com espessura constante, dando assim a tridimensionalidade ao modelo computacional. (STOLARSKI et al., 2007)

#### 2.1.1 Modelagem da Viga de Análise

Iniciou-se o uso do **ANSYS Main Menu** na seção **Preprocessor** e nesta seção, clicou-se em **Modeling, Create, Areas, Rectangle e By 2 Corners**. Foram inseridas as informações da seção lateral da peça, em metros, e no **WP (Working Plane)**, a primeira coordenada, a origem do sistema cartesiano, bem como as dimensões da área, comprimento e altura, em metros. Com as informações inseridas, clica-se em **OK** e, após, inclui-se as constantes do material.

#### 2.1.2 Inserção das Constantes do Material

Retornando ao menu principal para entrada dos dados das constantes do material - no caso, o concreto - considerou-se o material como sendo estrutural, linear e isotrópico. Esta é uma boa aproximação, pois o concreto estará no Estádio I, no qual não se ultrapassa o valor de resistência característico de tração do concreto, isto é, no regime elástico linear. Além disso, o material é isotrópico, pois o mesmo ainda está no regime linear e será considerado um produto homogêneo até tal limite (CARVALHO e FIGUEREDO FILHO, 2014). Na seção **Material Props**, clica-se em **Material Models, Structural, Linear, Elastic, Isotropic**. Para o módulo de Poisson, adotou-se 0,2 conforme a NBR 6118:2014.

#### 2.1.3 Discretização da Área da Viga em Elementos Finitos

No menu principal discretizou-se a área usando elementos finitos: clicou-se em **Element Type, Add/Edit/Delete** e selecionou-se a opção **Add**. Já na seção **Structural**

**Mass** escolheu-se **Solid** e **Quad 8 node 183**. Tendo sido definido o tipo do elemento, clicou-se em **Options** e, em seguida, na opção **Element behavior** e selecionou-se a opção **Plane strs w/thk**, que se trata tensão plana com espessura, garantindo, assim, a validação do ensaio para a terceira dimensão: a espessura.

#### 2.1.4 Entrada da Espessura da Viga e Discretização da Malha

Para a inserção da espessura da viga, na seção **Preprocessor** clicou-se em **Real Constants, Add/Edit/Delete**. Já no menu **Real Constant for Plane Stress with Thickness** inseriu-se o valor, em metros, da espessura da peça; no caso, 0,1 m.

Na seção **Preprocessor, Meshing, Size Cntrls, Manual Size, Areas, Picked Areas**, selecionou-se a área para qual os elementos seriam discretizados. Neste primeiro passo, definiu-se o tamanho dos elementos e selecionou-se a área do modelo. Feita essa seleção, na janela para definição do tamanho dos elementos da malha, foi escolhido o tamanho desejado, no nosso caso, 0,0025 m. Em **Meshing**, clicou-se em **Mesh, Areas, Free** e selecionou-se a área da viga. Feita essa seleção, foi exibida a malha do modelo.

#### 2.1.5 Inserção das Condições de Contorno

Nesta etapa, foram inseridas as condições de contorno do modelo, tais como os apoios e a carga máxima aplicada antes da ruptura. Construída a malha, se dispuseram os nós de tal forma que neles se distribuíram as cargas e os apoios em seus respectivos nós. A ruptura por flexão de viga do experimento seguiu o disposto na NBR 12142:2010, definida por flexão de quatro pontos, ou seja, o ensaio será o de flexão com cisalhamento (flexão de três pontos). Assim, a viga fica biapoiada na prensa à medida que se desceu o braço da prensa com velocidade constante e o *software Ansys®* mostra a carga aplicada em Newton (N) ou quilonewton (kN), bem como os respectivos deslocamentos que ocorreram até a ruptura da peça no vão central. Para encontrar qual nó os apoios estão assentados e qual nó o braço da prensa aplicou a carga na peça, dispõe-se, que na barra superior, o ícone **List**. Ao clicarmos em **Nodes**, será aberta uma janela de seleção e, nela foi possível selecionar a opção **Coordinates only**.

O ensaio ocorreu da seguinte maneira: deixou-se livre um vão de 30 cm na viga e a carga foi aplicada no meio de seu vão. Como os apoios na viga estavam simetricamente posicionados, o braço da prensa aplicou uma carga na peça no meio do vão. Com as posições definidas, procurou-se o nó correspondente para a posição dos apoios e da aplicação da carga. Para representação do ensaio experimental, foram aplicados os apoios e a carga seguindo a NBR 12142:2010. Para isso temos que no apoio esquerdo localiza-se no nó 22. O nó do apoio direito é o nó 142 e o nó de aplicação da carga é o nó 282. Daí, aplicou-se as cargas e apoios na viga do modelo utilizando-se, no menu principal, a aba **Solution, Define Loads, Apply, Structural, Displacement, On Nodes**.



Na janela de seleção de nós, definiu-se o apoio esquerdo e, na janela de seleção, no item **List of Items** inseriu-se o número do nó, no caso 22. Já na janela de seleção das restrições aos deslocamentos selecionou-se **UY** e, no valor do deslocamento, informou-se 0, o que significa que o apoio não sofrerá deslocamento na direção  $y$ . Para o apoio da direita, repete-se esse mesmo procedimento, com a modificação apenas para os deslocamentos: adiciona-se o deslocamento **UX** na seleção e informa-se o valor 0 para ambos. Aplicada à carga última de ruptura no modelo, o procedimento foi análogo aos anteriores: na seção **Solution, Define Loads, Apply, Structural**, clicou-se em **Force/Moment, On Nodes**, e, após a janela de seleção de nós, selecionou-se o nó de aplicação. Finalmente, na janela de entrada da carga, selecionou-se a opção **FY** e, na seção **Apply as**, selecionou-se **Constant Value**, inserindo-se o valor da carga em Newton (N). O sinal negativo indica que a carga é orientada no sentido negativo do eixo.

### 3 | RESULTADOS NUMÉRICOS

#### Aplicação 1: Viga Engastada e Apoiada

Nesta aplicação foi realizada a primeira validação da metodologia empregada neste trabalho considerando os resultados de Mello e Castanheira (2010) para a viga engastada e apoiada. Por definição, esta é aquela na qual em uma de suas extremidades há restrições quanto à rotação no eixo perpendicular ao plano e translação nas duas direções do plano no qual a viga está inscrita e ao longo da barra há um apoio, podendo ser de primeiro gênero, restringindo a translação em uma direção ou de segundo gênero, restringindo a translação em duas direções no plano inscrito (SÜSSEKIND, 1981).

A viga mostrada na Fig. 1 possui o módulo de elasticidade  $E = 200$  GPa; o coeficiente de Poisson  $\nu = 0,3$ ; o momento de inércia da seção transversal  $I = 1,180 \times 10^{-4}$  m<sup>4</sup> no eixo  $z$ , com a seção transversal quadrada de lado igual a 0,194 m. As dimensões da viga, bem com as condições de contorno são detalhadas na Fig. 1.

Para obtenção dos resultados, utilizou-se elementos quadrangulares de 0,097 m e, para cada elemento quadrangular de discretização, o elemento **Quad 8 node 183** da seção **Solid**. Já para os nós do engaste, bem como no nó do apoio simples, aplicou-se as condições de contorno do apoio,.

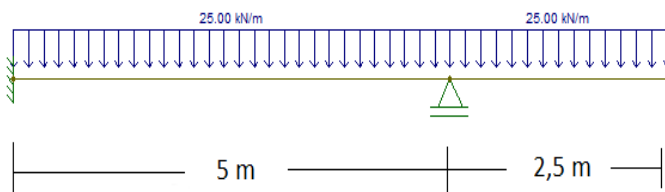
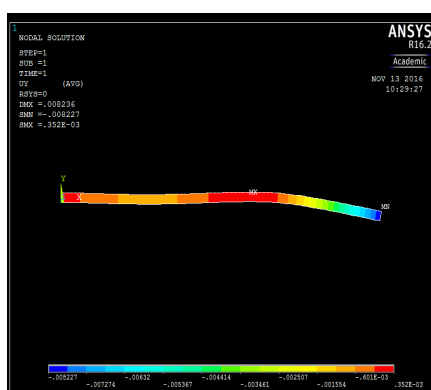
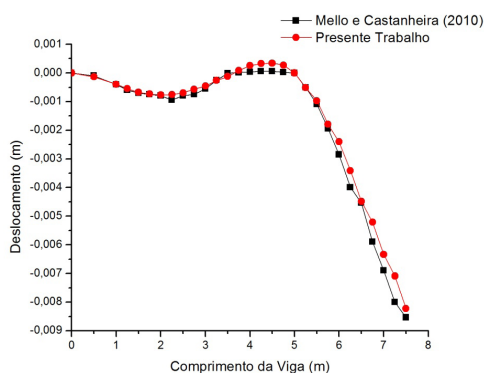


Figura 1 - Viga Engastada e Apoiada

Em Mello e Castanheira (2010), a carga foi distribuída por toda a viga e, como *software Ansys*® não permite realizar essa distribuição de carga, foi feita a distribuição nos nós da face superior da viga. A carga atuante total de 187500 N na viga foi distribuída pelos 79 nós da face superior, sendo uma carga de 2373,42 N para cada nó. Impostas todas as condições de contorno, apoios e carregamentos, o resultado para o deslocamento no eixo y é o disposto na Fig. 2(a). Já a Fig. 2(b) apresenta a comparação entre os modelos. Foi determinado o erro médio quadrático dado por  $\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^{n+1} \varepsilon_i^2}$  (LICHTEN, 1999), sendo  $\varepsilon = d_i - d_i^*$ , com  $d_i$  a solução numérica,  $d_i^*$  o deslocamento e  $n$  o número de pontos da discretização e é apresentado (Tabela 1).



(a)



(b)

Figura 2 – (a) Deslocamento no eixo y do modelo e (b) comparação entre os modelos.

Número de Pontos	Erro Médio Quadrático ( $\varepsilon$ )
28	4,61E-08

Tabela 1 - Erro Quadrático Médio

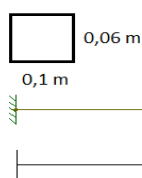
## Aplicação 2: Viga Engastada e Livre

Já nesta aplicação, considerando-se os resultados de Liu e Quek (2003) para a viga engastada e livre, foi feita a segunda validação da metodologia. Segundo Süsskind (1981), uma viga engastada e livre é aquela na qual em uma de suas extremidades há restrições quanto à rotação no eixo perpendicular ao plano e translação nas duas direções do plano na qual a viga está inscrita e a outra extremidade não há nenhum tipo de restrição quanto à translação e rotação dentro do plano na qual a viga está inscrita. A viga mostrada na Fig. 3(a) possui o módulo de elasticidade  $E = 69 \text{ GPa}$ ; o momento de inércia da seção transversal  $I = 1,80 \times 10^{-6} \text{ m}^4$  no eixo z, com a seção transversal retangular de base 0,1 m

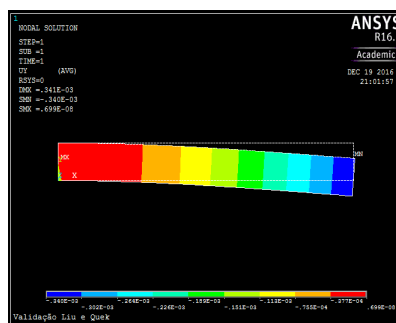
e altura 0,06 m e o coeficiente de Poisson  $\nu = 0,33$ . As dimensões da viga, bem com as condições de contorno são detalhadas na Fig. 3(a) Para obtenção dos resultados, utilizou-se elementos quadrangulares de 0,005 m e, como na aplicação anterior, o elemento **Quad 8 node 183**. Já para os nós do engaste foram aplicadas as condições de contorno do apoio, bem como no nó do apoio simples.

Em Liu e Quek (2003), a carga era pontual na ponta do balanço, sendo aplicada no último nó da face superior e a carga atuante de 1000 N (Fig. 3(a)). Impostas todas as condições de contorno, apoios e carregamentos, o modelo foi resolvido usando o *software Ansys®* e o resultado do deslocamento no eixo *y* é o disposto na Fig. 3(b)

Como no caso anterior, foi determinado o erro médio quadrático e apresentado na Tabela 2. Já a Tabela 3 mostra o erro associado para os deslocamentos em Liu e Quek (2003) e para o presente trabalho.



(a)



(b)

Figura 3 – (a) Detalhamento da viga engastada e seção transversal e (b) deslocamento no eixo *y* do modelo.

Comprimento da viga (m)	Presente Trabalho (m)	Liu e Quek (2003) (m)
0,00	0,00	0,00
0,25	-1,065E-04	-1,048E-04
0,50	-3,396E-04	-3,355E-04

Tabela 2 - Deslocamento disposto em Liu e Quek (2003) e no presente trabalho

Número de pontos (n)	Erro Médio Quadrático ( $\epsilon$ )
3	2,23E-06

Tabela 3 - Erro Quadrático Médio

### Aplicação 3: Flexão de viga de concreto não armada

Neste aplicação, serão avaliados a tensão normal de tração máxima  $\sigma_x$ , o deslocamento ocorrido no ponto de aplicação da carga na parte inferior da peça para não ter influência do efeito de Saint-Venant e a primeira tensão principal no meio do vão na face inferior. Para a realização da modelagem, foram inseridas na definição das condições de contorno, a carga última de ruptura da viga, o módulo de deformação longitudinal e o coeficiente de Poisson. Para cada resistência característica à compressão  $f_{ck}$  do concreto, definiu-se uma carga última de acordo com a resistência média à tração, a qual depende da resistência característica à compressão  $f_{ck}$ .

O módulo de deformação longitudinal, tratado na NBR 6118:2014 como módulo de elasticidade, é encontrado através de ensaios e é definido em dois tipos: o tangente ( $E_{ci}$ ) e o secante ( $E_{cs}$ ). O módulo tangente é definido representando a inclinação da reta tangente à curva na origem do diagrama tensão-deformação do concreto submetido à compressão simples. Já o módulo secante se refere à inclinação da reta que passa pela origem e corta o diagrama no ponto correspondente a uma tensão de  $0,4 f_c$ , com  $f_c$  sendo a resistência à compressão simples (ARAÚJO, 2014).

O módulo de deformação tangente pode ser estimado a partir da Eq. (13) proposta pela NBR 6118:2014, a partir da resistência  $f_{ck}$  na qual o concreto foi dosado, válida para concretos com  $f_{ck}$  de 20 MPa a 50 MPa:

$$E_{ci} = \alpha_E 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$

com  $E_{ci}$  e  $f_{ck}$  em MPa e com  $\alpha_E$  sendo um coeficiente que leva em consideração o tipo de agregado graúdo utilizado, sendo  $\alpha_E = 1,2$  para basalto e diabásio,  $\alpha_E = 1,0$  para granito e gnaisse,  $\alpha_E = 0,9$  para calcário e  $\alpha_E = 0,7$  para arenito.

O módulo de deformação secante pode ser estimado como sendo:

$$E_{cs} = \alpha_i E_{ci} \quad (2)$$

com

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad (3)$$

Para avaliação no ensaio de flexão, a NBR 6118:2014 permite avaliar o comportamento de um elemento a tração com o módulo de deformação secante  $E_{cs}$ . Neste trabalho, o agregado utilizado na confecção dos corpos de prova foi a brita, extraída de rocha de granito. Na Tabela 4 seguem os valores estimados, em MPa, para o módulo de deformação secante  $E_{cs}$ .

$f_{ck}$ (MPa)	$E_{ci}$ (MPa)	$E_{cs}$ (MPa)
15	21688,71	18164,29
20	25043,96	21287,37
25	28000,00	24150,00
30	30672,46	26838,41

Tabela 4 - Módulo de Deformação do Concreto

A carga última será definida a partir da resistência característica à compressão na qual o concreto foi dosado. A resistência média a tração segundo a NBR 6118:2014, para concretos de  $f_{ck}$  de 20 MPa a 50 MPa, definido pela NBR 6118:2014, é obtida através da relação

$$f_{ctm} = 0,3(f_{ck})^{2/3} \quad (4)$$

com  $f_{ctm}$  e  $f_{ck}$  em MPa.

No ensaio de flexão de três pontos, (Fig. 4), a tensão resistente de tração na flexão é dada por

$$f_{ct,fl} = \frac{3 P_u L}{2 b h^2} \quad (5)$$

com  $P_u$  em N;  $L$ ,  $b$  e  $h$  em m e  $f_{ct,fl}$  em Pa.

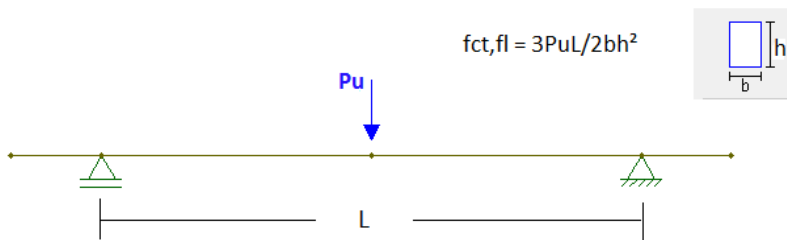


Figura 4 - Representação do Ensaio de Flexão de 3 Pontos

A relação da resistência a tração no ensaio de flexão com a resistência média a tração é dada por

$$f_{ctm} = 0,7f_{ct,fl} \quad (6)$$

com  $f_{ctm}$  e  $f_{ct,fl}$  em MPa.

Tendo em vista as relações acima apresentadas e o ensaio de flexão a ser realizado, apresentamos na Tabela 5 as cargas estimadas de ruptura, denominada por  $P_u$ , a serem utilizadas na modelagem computacional. De posse da carga última estimada de ruptura  $P_u$ ,

inseriu-se os valores na modelagem computacional.

Para exibição dos resultados no *Ansys*<sup>®</sup>, definidos os carregamentos para cada viga de concreto com o  $f_{ck}$  (Tabela 5), na seção *Solution*, no item *Solve* resolveu-se a modelagem de cada flexão de viga de acordo com seu respectivo  $f_{ck}$ .

$f_{ck}$ (MPa)	$P_u$ (kN)
15	5,793
20	7,017
25	8,143
30	9,195

Tabela 5 - Carga Estimada de Ruptura

A solução fornecida pelo *Ansys*<sup>®</sup> na seção **General Postproc** forneceu a opção de que tipo de resultado deseja-se extrair dependendo da análise a ser feita. Para a análise nodal dos resultados, deve-se recorrer a **Plot Results, Contour Plot, Nodal Solution**. Para análise do deslocamento ocorrido no nó de aplicação da carga, escolheu-se a opção **DOF Solution, Y-Component of displacement**. Já para a análise da tensão normal de tração máxima  $\sigma_x$ , optou-se pela opção **Stress, X-Component of stress**. Para análise da primeira tensão principal, escolheu-se a opção **Stress, 1st Principal Stress**. Nesta aba, na opção **Undisplaced shape key** selecionou-se a opção **Deformed shape with undeformed edge**.

Seguem os resultados para os deslocamentos, tensão normal e principal para cada respectiva resistência  $f_{ck}$ . Para os deslocamentos são apresentados os resultados em metros e a tensão normal e principal, em Pascal.

A Fig. 5(a) mostra o gradiente de deslocamentos ao longo da viga. As cores representam a intensidade do deslocamento sofrido pelos nós devido à flexão, sendo que cada matiz representa um intervalo de deslocamento, e, a partir das cores, pode-se observar a disposição dos deslocamentos ao longo da peça e seu comportamento. Já na Fig. 5(b) observa-se a distribuição da tensão normal nos nós da viga de concreto: o gradiente de cores mostra a transição de tensão dentro da peça, variando da compressão nas áreas próximas da aplicação da carga para a tração nas áreas próximas da face inferior da peça. Cada matiz representa um intervalo de tensão. Observa-se também que grande parte da peça foi submetida a esforços de tração, com uma pequena fração submetida à tensão de compressão. Já na Fig. 5(c), observou-se a distribuição da 1ª tensão principal nos nós da viga de concreto. Esta tensão leva em consideração apenas a maior tensão nas direções principais dos nós, não havendo tensões fora destas direções. Para a 1ª tensão principal foram consideradas as maiores tensões nas direções principais. Cada matiz representa

um intervalo de tensão. Observou-se também que grande parte da peça foi submetida a um baixo esforço de tração, com as partes na face inferior com consideráveis tensões de tração.

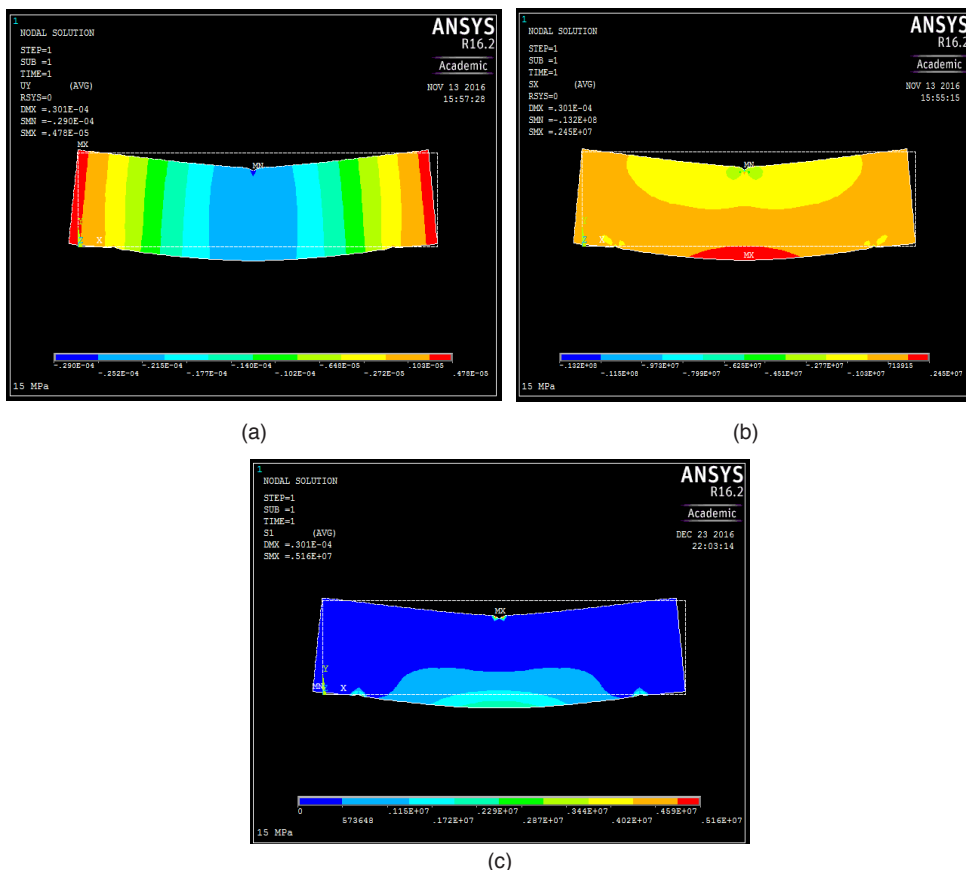


Figura 5 – (a) Deslocamento no eixo y, (b) tensão normal no eixo x e (c) 1ª tensão principal para  $f_{ck} = 15$  MPa

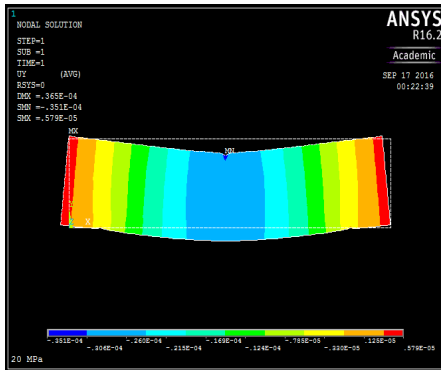
A seguir, apresenta-se os resultados para a tensão de deslocamento, tração e 1ª tensão principal para o  $f_{ck}$  de 20 MPa. Verifica-se na Fig. 6(a) o gradiente de deslocamentos ao longo da viga. As cores representam a intensidade do deslocamento sofrido pelos nós devido à flexão. Cada matiz representa um intervalo de deslocamento. A partir das cores pode-se observar a disposição dos deslocamentos ao longo da peça e seu comportamento. Já na Fig. 6(b) observa-se a distribuição da tensão normal nos nós da viga de concreto: o gradiente de cores mostra a transição de tensão dentro da peça, variando da compressão nas áreas próximas da aplicação da carga para a tração nas áreas próximas da face inferior da peça. Cada matiz representa um intervalo de tensão, conforme mostrado na Fig. 6(b).

Observa-se também que grande parte da peça foi submetida a esforços de tração, com uma pequena fração submetida à tensão de compressão. Já a Fig. 6(c) mostra a distribuição da 1ª tensão principal nos nós da viga de concreto. Esta tensão leva em consideração apenas a maior tensão nas direções principais dos nós, não havendo tensões fora destas direções. Para a 1ª tensão principal, foram consideradas as maiores tensões nas direções principais. Cada matiz representa um intervalo de tensão, conforme mostrado na Fig. 6(c). Observou-se também que grande parte da peça foi submetida a um baixo esforço de tração, com as partes na face inferior com consideráveis tensões de tração.

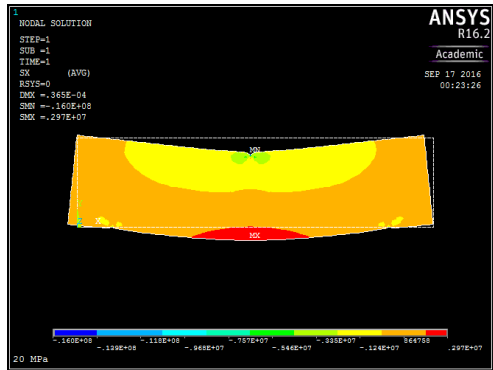
A Figura 7 os resultados para a tensão de deslocamento, tração e 1ª tensão principal para o  $f_{ck}$  de 25 MPa. Verifica-se na Fig. 7(a) o gradiente de deslocamentos ao longo da viga. As cores representam a intensidade do deslocamento sofrido pelos nós devido à flexão. Cada matiz representa um intervalo de deslocamento, conforme mostrado na Fig. 7(b). A partir das cores pode-se observar a disposição dos deslocamentos ao longo da peça e seu comportamento. Já na Fig. 7(b) observa-se a distribuição da tensão normal nos nós da viga de concreto: o gradiente de cores mostra a transição de tensão dentro da peça, variando da compressão nas áreas próximas da aplicação da carga para a tração nas áreas próximas da face inferior da peça. Cada matiz representa um intervalo de tensão, conforme mostrado na Fig. 7(b).

Observa-se também que grande parte da peça foi submetida a esforços de tração, com uma pequena fração submetida à tensão de compressão. Já na Fig. 7(c) observa-se a distribuição da 1ª tensão principal nos nós da viga de concreto. Esta tensão leva em consideração apenas a tensão nas direções principais dos nós, não havendo tensões fora destas direções. Para a 1ª tensão principal, considerou-se as maiores tensões nas direções principais. Cada cor representa um intervalo de tensão, conforme mostrado na Fig. 7(c). Observa-se também que grande parte da peça está submetida a um baixo esforço de tração, com as partes nas face inferior com consideráveis tensões de tração.

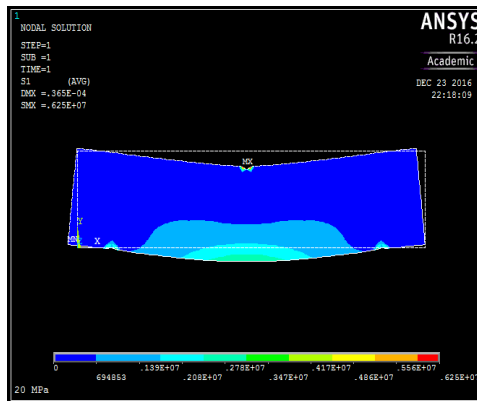




(a)



(b)

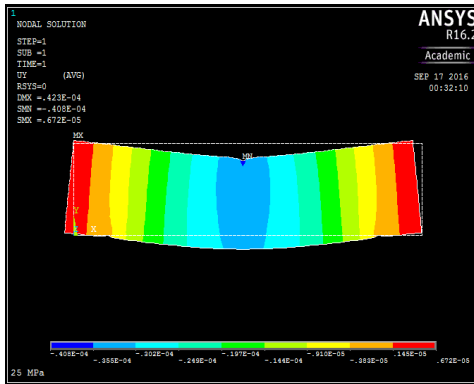


(c)

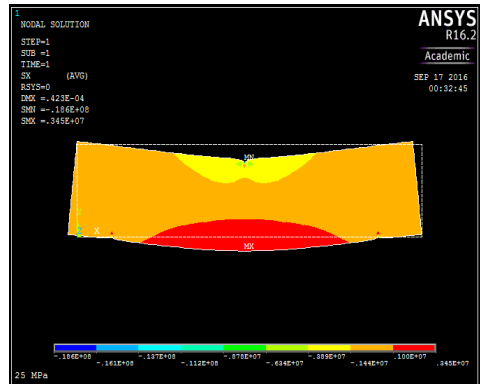
Figura 6 – (a) Deslocamento no eixo y, (b) tensão normal no eixo x e (c) 1ª tensão principal para  $f_{ck} = 20$  MPa

A seguir, seguem os resultados para a tensão de deslocamento, tração e 1ª tensão principal para o  $f_{ck}$  de 30 MPa.

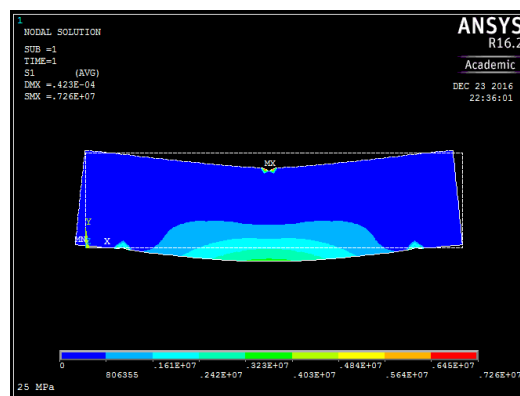
Verifica-se na Fig. 8(a) o gradiente de deslocamentos ao longo da viga. As cores representam a intensidade do deslocamento sofrido pelos nós devido à flexão. Cada matiz representa um intervalo de deslocamento, conforme mostrado na Fig. 8(b). A partir das cores pode-se observar a disposição dos deslocamentos ao longo da peça e seu comportamento. Já na Fig. 8(b) observa-se a distribuição da tensão normal nos nós da viga de concreto: o gradiente de cores mostra a transição de tensão dentro da peça, variando da compressão nas áreas próximas da aplicação da carga para a tração nas áreas próximas da face inferior da peça.



(a)



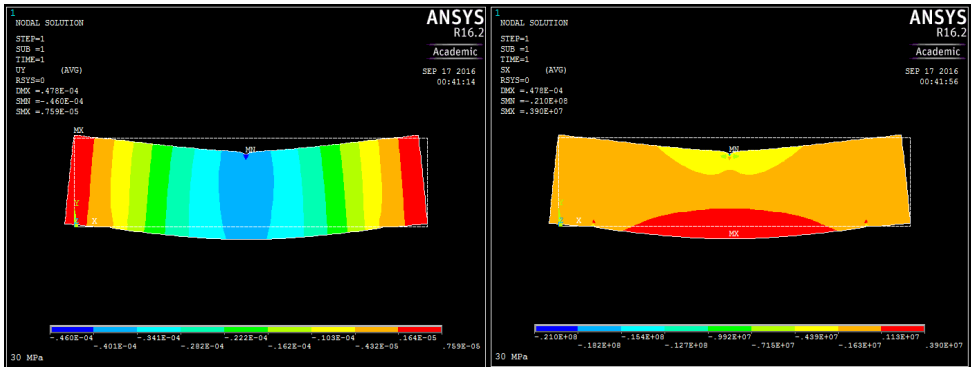
(b)



(c)

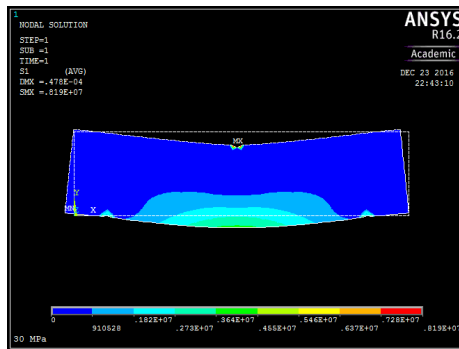
Figura 7 – (a) Deslocamento no eixo  $y$ , (b) tensão normal no eixo  $x$ . e (c) 1ª tensão principal para  $f_{ck} = 25$  MPa

Cada matiz representa um intervalo de tensão, conforme mostrado na Fig. 8(c). Observa-se também que grande parte da peça foi submetida a esforços de tração, com uma pequena fração submetida à tensão de compressão. Já na Fig. 8(c) observa-se a distribuição da 1ª tensão principal nos nós da viga de concreto. Esta tensão leva em consideração apenas a maior tensão nas direções principais dos nós, não havendo tensões fora destas direções. Para a 1ª tensão principal, foram consideradas as maiores tensões nas direções principais. Cada matiz representa um intervalo de tensão, conforme mostrado na Fig. 8(c). Observou-se também que grande parte da peça foi submetida a um baixo esforço de tração, com as partes na face inferior com consideráveis tensões de tração.



(a)

(b)



(c)

Figura 8 – (a) Deslocamento no eixo y, (b) tensão normal no eixo x. e (c) 1ª tensão principal para  $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

A deformação na face inferior no vão central no concreto obtida na análise computacional está disposta na Tabela 6. O sinal negativo significa que o deslocamento foi contrário ao sentido positivo atribuído ao eixo y, ou seja, o deslocamento foi para baixo. A tensão máxima de tração no concreto obtida na análise numérica está disposta na Tabela 7. Já a Tabela 8 apresenta a 1ª tensão principal no concreto na face inferior no meio do vão obtida na análise numérica.

A evolução dos deslocamentos máximos ocorridos na face inferior da viga e tensões normais de tração máximas de acordo com o  $f_{ck}$  do concreto utilizado, conforme mostrado na Fig. 9.

Observando as taxas de deslocamento e tração, nota-se que um decréscimo e crescimento, respectivamente, linear, o que corrobora as considerações feitas inicialmente sobre o material, considerando-o elástico linear e isotrópico até o seu rompimento à tração. Também, a partir destes dados, podem ser estimados os valores do deslocamento ou tensões médias de tração para outras classes de resistências  $f_{ck}$  até o limite de resistência do Grupo I definido pela NBR 6118:2014.

$f_{ck}$ (MPa)	Deformação no vão central (m)
15	-2,21E-05
20	-2,68E-05
25	-3,10E-05
30	-3,50E-05

Tabela 6 - Deflexão máxima ao longo do vão central

$f_{ck}$ (MPa)	Tensão de Tração (MPa)
15	2,4543
20	2,9728
25	3,4499
30	3,8956

Tabela 7 - Tensão de Tração Normal no Meio do Vão Central

$f_{ck}$ (MPa)	1ª Tensão Principal (MPa)
15	2,45
20	2,97
25	3,45
30	3,90

Tabela 8 - 1ª Tensão Principal no Meio do Vão Central

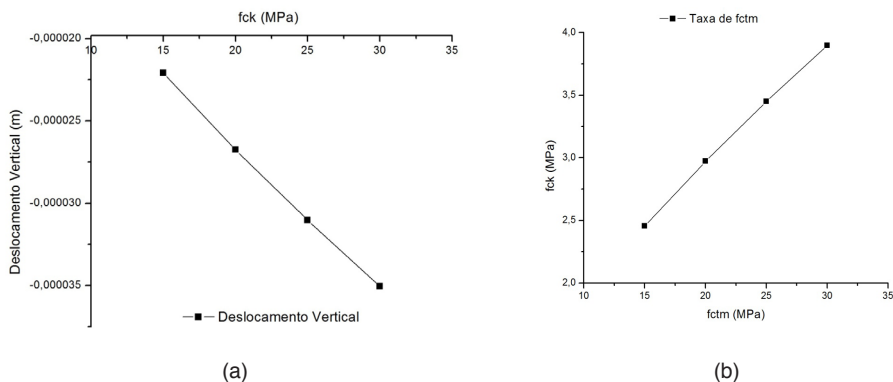


Figura 9 – (a) Taxa de deslocamento no vão central e (b) taxa de tração média no vão central.

## 4 | CONCLUSÃO

Neste trabalho, ferramentas computacionais para análise do ensaio de flexão de três pontos em vigas de concreto foram utilizadas. Foram avaliadas as tensões normal e principal no concreto e o deslocamento sofrido pela viga.

A validação da metodologia de solução via o *software Ansys*<sup>®</sup> foi realizada através de comparação com resultados disponíveis na literatura aberta e exemplos de aplicação foram apresentados mostrando que o *software Ansys*<sup>®</sup> constitui uma ferramenta viável na simulação computacional de flexão de vigas de concreto simples, tendo em vistas a diminuição de custos, sobretudo em se tratando de ensaios em laboratório. Futuros trabalhos poderão ser desenvolvidos a partir do desmembramento deste, tais como a execução de ensaios considerando outras geometrias de peça de concreto, tais como corpos de prova cilíndricos.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J.M. **Curso de Concreto Armado**, v. 1. Rio Grande: Dunas, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

CARVALHO, R.C; FIGUEREDO FILHO, J.R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: seguindo a NBR 6118:2014**. 3ª ed. São Carlos: EdUfscar, 2007.

JUKIC, M.; BRANK, B.; IBRAHIMBEGOVIC, A. Failure analysis of reinforced concrete frames by beam finite element that combines damage, plasticity and embedded discontinuity. **Engineering Structures**, n. 75, p. 507-527, 2014.

LICHTEN, W. **Data and Error Analysis**. New York: Prentice-Hall, 1999.

LIU, G.R.; QUEK, S.S. **The Finite Element Method - A Practical Course**. Burlington: Elsevier, 2003.

MELLO, F.M.; CASTANHEIRA, P. **Elementos Finitos - Formulação Residual de Galerkin - Uma introdução com aplicações**. Lisboa: Sílabo, 2010.

QAPO, M.; DIRAR, S.; JEMAA, Y. Finite element parametric study of reinforced concrete beams shear-strengthened with embedded FRP bars. **Composite Structures**, n. 149. p. 93-105, 2016.

SHANG, H.Y.; MACHADO, R.D; ABDALLA FILHO, J.E. Dynamic analysis of Euler–Bernoulli beam problems using the Generalized Finite Element Method. **Computers and Structures**, n. 173. p. 109-122, 2016.

STOLARSKI, T.A; NAKASONE, Y; YOSHIMOTO, S. **Engineering Analysis with ANSYS Software**. New York : Elsevier, 2007.

SÜSSEKIND, J.C. **Curso de Análise Estrutural**. v. 1. Rio de Janeiro: Globo, 1981.

## SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE FLEXÃO DE VIGAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO ARMADO

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 06/01/2021

### Afonso Henrique de Campos Rodrigues

Universidade Federal de Mato Grosso  
Instituto de Ciências Exatas e da Terra  
<https://orcid.org/0000-0002-3977-8982>.

### Marco Donisete de Campos

Universidade Federal de Mato Grosso  
Instituto de Ciências Exatas e da Terra  
Barra do Garças - MT  
<https://orcid.org/0000-0003-4365-0129>

**RESUMO:** A simulação computacional é uma ferramenta eficiente capaz de reduzir os gastos e o tempo de execução no desenvolvimento e realização de ensaios na Engenharia. Dessa forma, neste trabalho utilizando o *software* ANSYS® a tensão normal e a deformação total sob a aplicação da força de ruptura numa viga cilíndrica de concreto armado foram avaliadas. A validação foi realizada comparando-se os resultados numéricos com a solução analítica e, como uso do *software* ANSYS®, pode-se obter resultados realísticos e confiáveis para o caso da viga cilíndrica de concreto simples. Simulou-se, também, a aplicação da força de ruptura em vigas cilíndricas variando-se a sua resistência característica à compressão do concreto de 15 MPa até 30 MPa e, conseqüentemente, variando-se, também, as características manifestadas na viga em análise. Os resultados de quatro aplicações foram apresentados e discutidos para

testar a eficiência da metodologia.

**PALAVRAS-CHAVE:** ANSYS. Viga cilíndrica. Concreto armado. Método numérico.

### NUMERICAL SIMULATION OF BENDING OF THE CYLINDRICAL REINFORCED CONCRETE BEAMS

**ABSTRACT:** Computer simulation is an efficient tool capable of reducing costs and runtime in the development and performance of tests in Engineering. Thus, in this work using the ANSYS™ software the normal strain and the total deformation under the application of the breaking force in a cylindrical beam were evaluated. The validation was performed by comparing the numerical results with the analytical solution and, using the ANSYS™ software, it is possible to obtain realistic and reliable results for the case of the simple concrete cylindrical beam. It was also simulated the application of the breaking force in cylindrical beams, varying its characteristic compressive strength of the concrete from 15 MPa to 30 MPa and, consequently, also varying the characteristics manifested in the beam in analyze. The results of four applications were presented and discussed to test the efficiency of the methodology.

**KEYWORDS:** ANSYS. Cylindrical beam. Reinforced Concrete. Computational simulation.

## 1 | INTRODUÇÃO

Devido a gama de aplicabilidade, uma situação de interesse na Engenharia é o estudo comportamento da deflexão de vigas. De modo particular, uma vez que as vigas de concreto

armado são basicamente constituídas por concreto simples e aço, materiais esses que se deformam quando solicitados por carregamento externo, a análise dessas deflexões se torna possível usando diferentes técnicas numéricas e experimentais. Nesse sentido, utilizando o *software* ANSYS®, Drienovská e Tvrda (2017) analisaram a deformação temporal de uma viga de concreto armado bi apoiada sob uma força aplicada no meio do vão, considerando o material como sendo viscoelástico. Analisaram apenas a deflexão devido à força que atua no centro da peça e, devido à análise da fluência da viga ter sido executada em um curto período, as deformações obtidas foram pequenas no decorrer de um ano. Já Vican e Janik (2014) compararam resistência suportada pela viga-pilar feita de aço usando experimentos de laboratório e simulação numérica: utilizaram quatro peças para o ensaio com carregamentos diferentes, sendo alguns carregamentos gerando excentricidades no componente e cargas de ruptura aplicadas nos corpos de prova. Notaram que na peça com compressão axial centrada, ocorreu a ruptura na região intermediária da peça e, nas peças com excentricidades, ocorreu outro tipo de colapso ocasionado pelo momento criado pelas forças axiais excêntricas. Utilizando o *software* ANSYS® *Workbench* para a análise numérica, as peças foram modeladas, incluindo as suas imperfeições geométricas e obtidas as forças de ruptura satisfatórias no *software*, que se diferenciaram no máximo em 4,1% das forças obtidas no método experimental. Também, Muliterno e Pravia (2016), utilizando o Método dos Elementos Finitos, validaram um modelo de uma viga à flexão comparando os resultados numéricos com os experimentais. Através do *software* ANSYS®, modelaram uma viga bi apoiada de concreto armado com uma carga de ruptura concentrada no meio do vão. O concreto e o aço foram modelados de forma distinta, cada qual com os seus respectivos coeficientes e, após, agrupados em uma só peça. Através do ensaio experimental realizado, foi contabilizado uma carga de ruptura de 22 kN. Aplicando essa mesma carga de ruptura na simulação computacional, obtiveram uma diferença de 0,029 mm da flecha no vão central em comparação com o ensaio experimental, correspondendo a uma diferença 0,78% entre os resultados.

Dessa forma, neste trabalho a flexão de viga cilíndrica de concreto simples será analisada numericamente através do *software* ANSYS®, fazendo a inserção das propriedades do material, sua modelagem e a discretização da viga cilíndrica e, ainda, a aplicação das condições de contorno, como o carregamento e as vinculações nos apoios.

## 2 | METODOLOGIA COMPUTACIONAL

A plataforma *Workbench* do *software* ANSYS®, a qual se baseia no Método dos Elementos Finitos, foi utilizada para resolução do problema da flexão de viga cilíndrica de concreto. A seguir, a metodologia computacional para a análise será apresentada.

## 2.1 Procedimento computacional

Na plataforma *Workbench*, para a execução da simulação do ensaio de flexão da viga, foram implementadas as seguintes etapas: especificação do material, modelagem da peça, *discretização* da malha e aplicação das condições de contorno. Em se tratando de uma viga cilíndrica e, portanto, um sistema estrutural estático, seleciona-se a opção **Static Structural**. Tendo sido escolhido o tipo de análise do sistema, as próximas etapas a serem realizadas para a representação do problema físico proposto e sua consequente resolução são **Engineering Data, Geometry, Model, Setup, Solution, Results**.

## 2.2 Especificação do material

Nesta etapa, selecionou-se a opção **Engineering Data**, para a especificação do material a ser utilizado e, a seguir, inseriu-se o tipo do material – para o nosso estudo, o concreto. A seguir, selecionou-se a opção **Linear Elastic** e, depois, **Isotropic Elasticity**, para a caracterização do concreto como um material isotrópico, elástico e homogêneo. Depois, quatro coeficientes, combinados de dois a dois, podiam ser escolhidos: **Young's Modulus, Poisson's Ratio, Bulk Modulus** e **Shear Modulus**. Selecionando o **Young's Modulus** e **Poisson's Ratio**, inseriu-se o *Módulo de Young* (ou *Módulo de Elasticidade*), o qual pode variar de acordo com o  $f_{ck}$  do concreto, sendo que, para o ensaio de flexão, inseriu-se o *Módulo de Deformação Secante*. O coeficiente de Poisson adotado para o concreto segundo a NBR 6118:2014 foi igual a 0,2.

## 2.3 Modelagem da peça

Tendo sido especificado o material, selecionou-se a opção **Geometry** e, a seguir, na aba **Space Claim** ocorreu o dimensionamento tridimensional da peça. Por se tratar de uma viga cilíndrica, selecionou-se a opção **Circle** e escolheu-se o eixo cartesiano *y-z* para o esboço da base da peça. Finalmente, determinou-se o diâmetro em milímetros.

A seguir, escolheu-se a opção **Fill** e selecionou-se o círculo para preenchê-lo. Preenchido o esboço, inseriu-se o tamanho do vão da viga. Dessa forma, determinou-se a modelagem da peça de forma tridimensional (Fig. 1).

## 2.4 Discretização

Tendo sido modelada a peça, selecionou-se a opção **Model**, na qual estão todos os outros passos a serem executados. Inicialmente, selecionou-se a opção **Mesh**, em **Details of Mesh**. Selecionada a opção **Mesh**, clicou-se na opção **Update** e foi realizada a discretização da malha (Fig. 2).



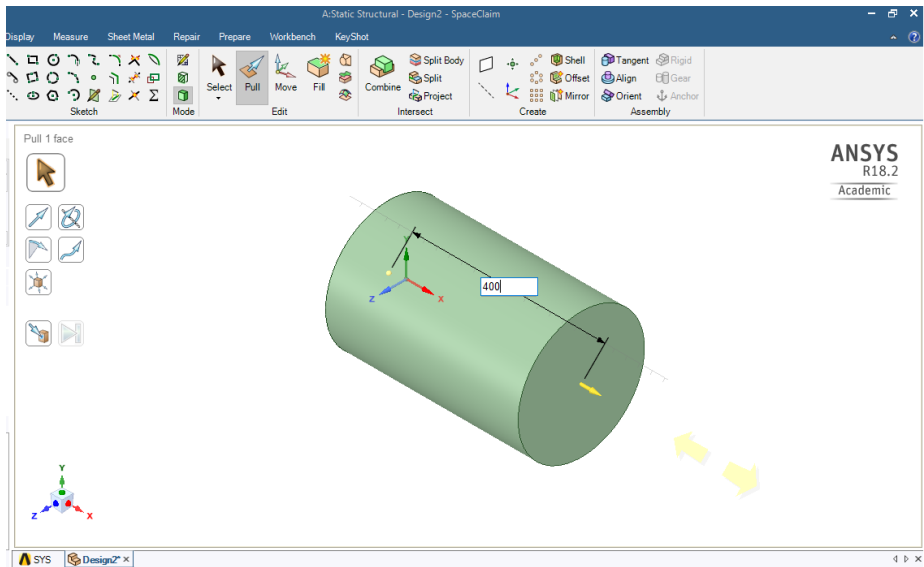


Figura 1 - Dimensionamento do vão

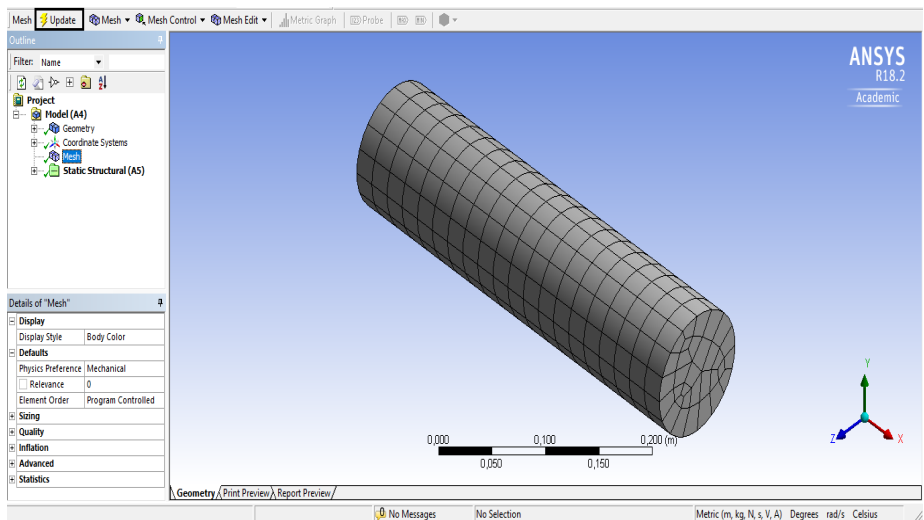


Figura 2 - Malha discretizada

## 2.5 Aplicação das condições de contorno

Tendo sido discretizada a peça, definiu-se o sistema estático estrutural. Por se tratar de um modelo cilíndrico engastam-se as duas extremidades para que, ao se aplicar a força de ruptura no meio do vão, a peça não translate. As condições de contorno foram inseridas no modelo estrutural selecionando-o item **Static Structural**. Em seguida, na opção **Insert** a

condição de contorno foi escolhida.

A fim de engastar a extremidade da peça, selecionou-se a opção **Fixed Support**, e clicando na opção **Face**, selecionou-se a face da peça na opção **Geometry** (Fig. 3). Deste modo efetivou-se o engaste. O processo foi repetido para a face da extremidade oposta da viga, gerando, assim, uma viga cilíndrica bi engastada.

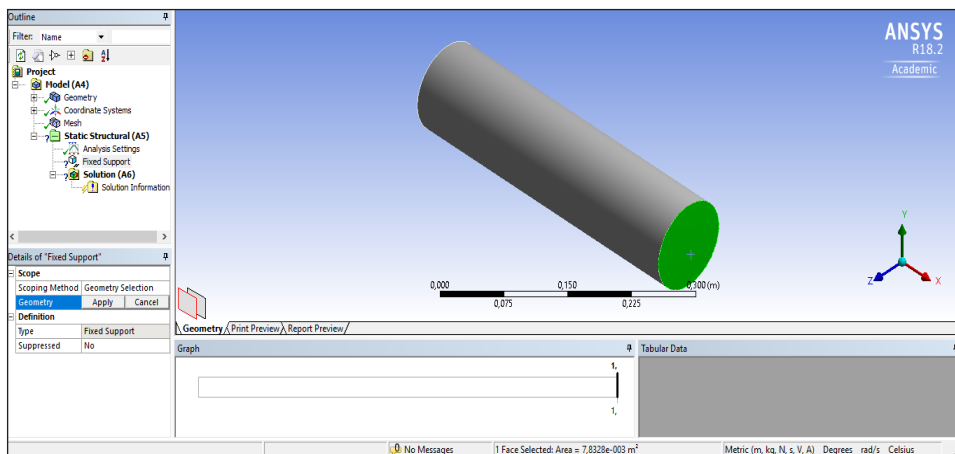


Figura 3 - Engastando a peça

Finalmente, aplicou-se a força de ruptura no vão da peça em análise. Na aba **Static Structural**, com a opção **Insert**, selecionou-se o item **Force**. Em **Define By**, selecionou-se a opção **Components** na qual foram exibidos os três eixos cartesianos para inserção da magnitude da força. Definiu-se, então, a força de ruptura com o sinal negativo no eixo y e selecionou-se a face no meio do vão. Dessa forma foi criado o sistema estático estrutural (Fig. 4). Pode-se notar que, na Fig. 4, a letra A e B correspondem ao engaste aplicado nas extremidades, enquanto a letra C no esquema estático corresponde à força de ruptura aplicada no meio do vão.

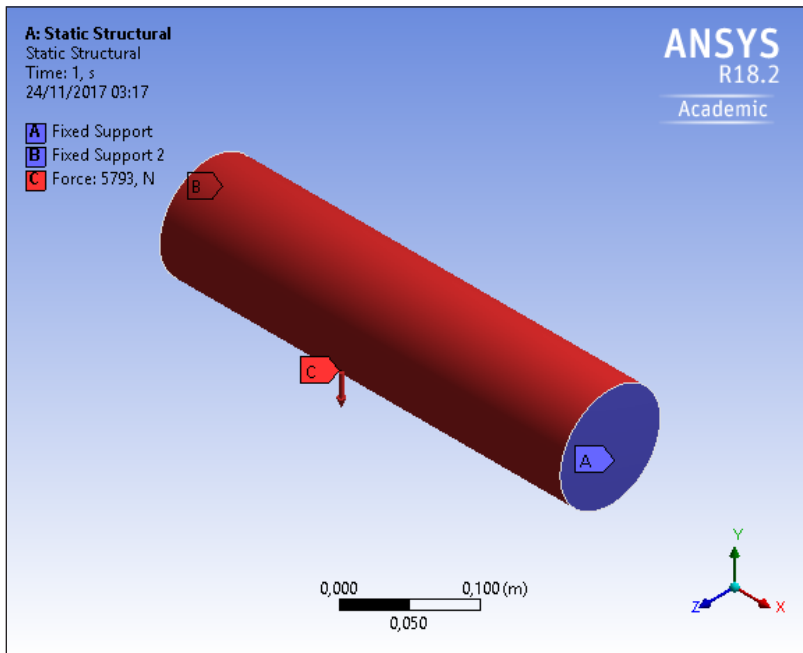


Figura 4 - Sistema estático estrutural

### 3 | RESULTADOS NUMÉRICOS

Nesta seção serão apresentadas algumas aplicações da simulação numérica de flexão de vigas de geometria cilíndrica.

Inicialmente, para efeito de validação da metodologia, foi analisado um caso de viga de aço submetida à tração axial, sendo que os resultados obtidos para a deformação total, a deformação específica da peça e a tensão normal no eixo x foram comparados com os analíticos obtidos utilizando-se os critérios de dimensionamento segundo a NBR 8800:2008.

A seguir, variando-se a resistência característica à compressão do concreto de 15 MPa, 20 MPa, 25 MPa até 30 MPa, simulou-se a aplicação da força de ruptura em vigas cilíndricas para se analisar a relação entre a resistência à compressão do concreto para o rompimento da peça e a sua deformação.

#### Aplicação 1: Viga de aço submetida à tração axial

Nesta aplicação, para efeitos de validação da metodologia, foi utilizada uma viga de aço de perfil W (tipo I) 310x21 (PFEIL e PFEIL, 2009), com comprimento de 6 m. Os coeficientes adotados tanto para a análise analítica quanto para a modelagem computacional foram extraídos da NBR 8800:2008, sendo os valores adotados para o módulo de elasticidade do aço e para o coeficiente de Poisson iguais a  $E = 200$  GPa

e  $v = 0,3$ , respectivamente. Foi utilizado o aço-carbono MR-250 que possui uma tensão de escoamento  $f_y = 250$  MPa e uma tensão de ruptura  $f_u = 400$  MPa segundo a NBR 8800:2008. Como a viga não contém furos em sua seção, analisou-se somente duas resistências estabelecidas pela NBR 8800:2008.

Temos que a primeira resistência permite analisar a resistência do escoamento da seção bruta (Eq. 1) enquanto a segunda, a ruptura da seção líquida (Eq. 2):

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (1)$$

no qual,  $N_{t,Rd}$  é a resistência do escoamento da seção bruta, em N;  $A_g$  é a área bruta da peça em, m<sup>2</sup>;  $f_y$  é a tensão de escoamento do aço, em MPa;  $\gamma_{a1}$  é o coeficiente de segurança,

e

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \quad (2)$$

no qual,  $N_{t,Rd}$  é a resistência de ruptura da seção líquida, em N;  $A_e$  é a área efetiva da peça em, m<sup>2</sup>;  $f_u$  é a tensão de ruptura do aço, em MPa;  $\gamma_{a2}$  é o coeficiente de segurança.

Assim, utilizando-se o menor valor encontrado obteve-se a força limite suportada pela viga, considerando-se em seu Estado-Limite Último (ELU). Avaliando-se o aço em seu regime elástico linear, utilizou-se a *lei de Hooke*, segundo a qual, o comportamento elástico da peça é dado por:

$$\sigma = E \varepsilon \quad (3)$$

em que,  $E$  é o módulo de elasticidade, em GPa;  $\varepsilon$  é a deformação específica.

Dessa forma, determinou-se a deformação específica do material e, em seguida, multiplicando-se pelo comprimento da viga permitiu encontrar a deformação máxima da peça. Para o tratamento computacional, modelou-se a peça de forma criteriosa e, após, inseriu-se os coeficientes, assim como as suas condições de contorno, engastando uma extremidade da viga e, na extremidade oposta, aplicou-se a força última do regime elástico (Fig. 5-a).

Dessa forma, foi solucionado o problema físico e foram obtidos a deformação total da peça (Fig. 5b), a deformação específica (Fig. 5c) e a tensão normal no eixo  $x$  (Fig. 5d). Pode-se notar que, na Fig. 5, há um matiz de cores gradativas: quanto mais se afasta da extremidade de aplicação do engaste, maior será a deformação da peça, ocorrendo, conseqüentemente, a deformação máxima no ponto de aplicação da força. Já na Fig. 5 é evidenciada a predominância de uma cor, devido a uma alta tensão resistente do aço, caracterizando, assim, a deformação específica do material e a tensão normal no eixo  $x$ .

Para se realizar a validação foram obtidos os resultados analíticos para a deformação

total, a deformação específica da peça e a tensão normal no eixo x, utilizando-se os critérios de dimensionamento segundo a NBR 8800:2008.

Para a comparação dos resultados utilizou-se o erro relativo:

$$\text{erro relativo} = \frac{\text{solução numérica} - \text{solução analítica}}{\text{solução numérica}} \quad (4)$$

A Tabela 1 apresenta a comparação dos resultados analíticos e numéricos, bem como o erro associado. Pode-se notar que através dos resultados apresentados, obteve-se uma boa aproximação entre os valores analíticos e numéricos. Como a diferença associada aos resultados foi pequena, a simulação computacional é uma opção promissora para solucionar problemas de flexão de vigas de geometria cilíndrica. Apresentando, assim, resultados compatíveis.

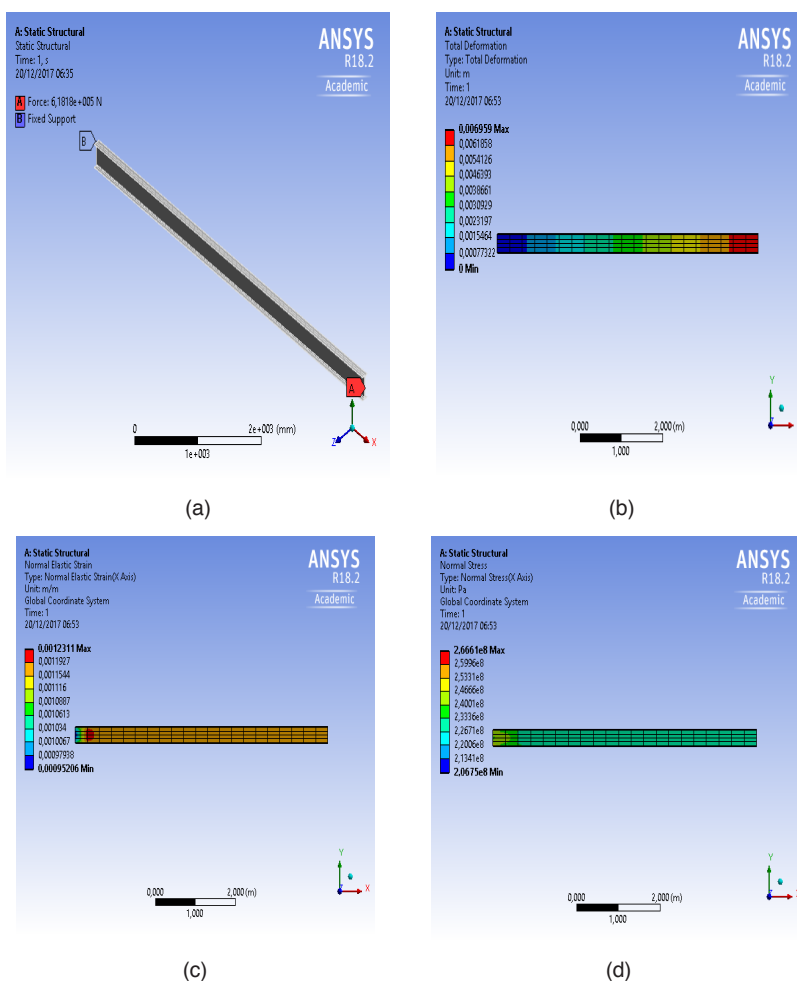


Figura 5 – (a) Sistema estático da peça, (b) deformação total, (c) deformação específica e (d) tensão normal no eixo x

	Solução Analítica	Solução Numérica	Erro (%)
<b>Deformação total (mm)</b>	6,818	6,959	2,026
<b>Tensão normal no eixo x (MPa)</b>	227,272	233,36	2,608
<b>Deformação específica da peça</b>	1,136E-3	1,192E-3	4,697

Tabela 1 - Comparações dos resultados

## Aplicação 2: Corpo de prova com $f_{ck}=15$ MPa, $f_{ck}=20$ MPa, $f_{ck}=25$ MPa e $f_{ck}=30$ MPa

Nesta aplicação, foram avaliadas a deformação máxima e a tensão normal no eixo x. A deformação máxima é uma característica importante para a análise pois, de acordo com a NBR 6118:2014, as estruturas devem apresentar uma boa aparência para que estabeleça uma segurança e um conforto ao usuário. Já a tensão normal no eixo x também deve ser analisada, pois a tensão de resistência deve ser maior que a tensão solicitante na peça para que não ocorram deformações exageradas ou fissuras, podendo levar ao colapso. Portanto, aplicada uma força  $F$  à peça, será quantificada a tensão máxima que cada concreto com o seu diferente  $f_{ck}$  poderá vir a suportar.

A simulação do ensaio de flexão de vigas de geometria cilíndrica foi realizada aplicando o *software* ANSYS®. Primeiramente, definiu-se o tipo de material – nesse caso o concreto – o qual se constitui como sendo um material isotrópico, elástico e homogêneo: isotrópico porque, independente da direção, as propriedades mecânicas não se alteram; elástico, pois, quando o carregamento não exceder o seu limite de proporcionalidade, retirando-se, a estrutura voltará ao seu estado natural; homogêneo, devido todos os seus pontos possuírem as mesmas propriedades mecânicas.

Definido isso, inseriu-se o *Módulo de Young* (ou *Módulo de Elasticidade*) no *software* ANSYS®. Segundo a NBR 6118:2014, quando não se executam os ensaios, pode-se estimar os valores dos módulos de elasticidades através das formulações para  $f_{ck}$  variando de 20 MPa a 50 MPa, sendo o coeficiente  $\alpha_E$  o tipo de agregado graúdo que será usado para a elaboração do concreto:

$$E_{ci} = \alpha_E 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (5)$$

sendo  $\alpha_E = 1,2$  para basalto e diabásio,  $\alpha_E = 1,0$  para granito e gnaisse,  $\alpha_E = 0,9$  para calcário;  $\alpha_E = 0,7$  para arenito

O módulo de elasticidade secante ( $E_{cs}$ ) pode ser estimado pela relação com o módulo de elasticidade tangente inicial ( $E_{ci}$ ) a seguir, sendo o coeficiente  $\alpha_i$  variando de acordo com o  $f_{ck}$  do concreto:

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad (6)$$

no qual

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad (7)$$

Neste trabalho, foi utilizado o agregado graúdo granito gnaisse. De acordo com os diferentes  $f_{ck}$  do concreto, obteve-se os seguintes módulos de elasticidades apresentados na Tabela 2:

$f_{ck}$ (MPa)	$E_{ci}$ (Mpa)	$E_{cs}$ (MPa)
15	21688,71	18164,29
20	25043,96	21287,37
25	28000,00	24150,00
30	30672,46	26838,41

Tabela 2 - Módulos de Elasticidades

Inserindo-se o módulo de elasticidade no *software* ANSYS®, considerado secante para esse caso por se tratar de um ensaio de flexão, adicionou-se também o coeficiente de Poisson do material, o qual, de acordo com a NBR 6118:2014, é de 0,2 para o concreto. Ainda, conforme com a mesma norma, a resistência à tração média tem uma relação direta com o  $f_{ck}$  apresentado no concreto. Essa relação satisfaz à Eq. 8 a seguir, com o  $f_{ck}$  do concreto variando até 50 MPa:

$$f_{ctm} = 0,3f_{ck}^{2/3} \quad (8)$$

com  $f_{ctm}$  e  $f_{ck}$ , em MPa.

Como a viga cilíndrica se encontra em flexão pura, e pretendeu-se encontrar a carga de ruptura da peça, utilizou-se a seguinte relação:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (9)$$

na qual  $\sigma$  é a tensão normal máxima em Pa,  $M$  é o momento máximo, em Nm;  $c$  é a distância da linha neutra até a fibra mais tracionada, em m e  $I$  é o momento de inércia da peça, em m<sup>4</sup>.

Com as relações aplicadas e os resultados obtidos, obteve-se a força de ruptura  $F$  (Tabela 3), a qual varia de acordo com o  $f_{ck}$  de cada peça elaborada. Aplicada a carga, o corpo de prova entra em deformação máxima atingindo a ruína, que é o estado no qual a

simulação computacional do ensaio de flexão de vigas objetiva atingir para o estudo das deformações máximas e tensão normal existente.

Tendo sido definidos estes parâmetros e, com o sistema estático estabelecido, se utilizou uma viga bi engastada cilíndrica com vão de 40 cm, diâmetro da base de 10 cm e com a força de ruptura aplicada no meio do vão.

$f_{ck}$ (MPa)	$F$ (kN)
15	1,791
20	2,170
25	2,518
30	2,843

Tabela 3 - Força de ruptura

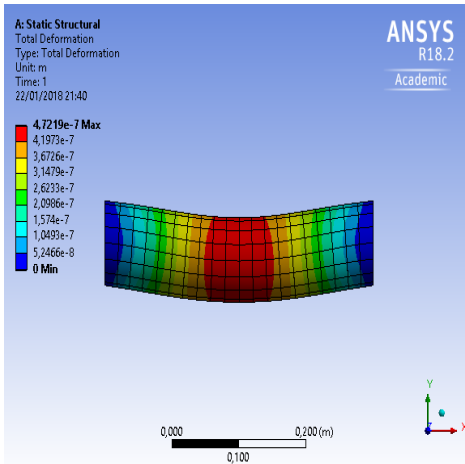
### 1º Caso: Resultados numéricos para o corpo de prova com $f_{ck}$ de 15 MPa

Selecionando-se a opção **Total Deformation** do software ANSYS® determinou-se a deformação total em metros da peça ocasionada pela aplicação da força de ruptura (Fig. 6a). Pode-se notar que o deslocamento máximo ocorreu no meio do vão, distribuído segundo o matiz de cores que quantifica os resultados por meio da barra vertical. Com a opção **Normal Stress** selecionada, obteve-se a tensão normal em *Pascal* no eixo x (Fig. 6b). Pode-se verificar que, segundo as distribuições dos matizes de cores, na face superior do vão no qual a força foi aplicada tem-se as forças de compressão preponderantes enquanto na face inferior aparecem as forças de tração. Portanto, verificou-se a tensão máxima de tração no meio do vão na parte inferior da peça.

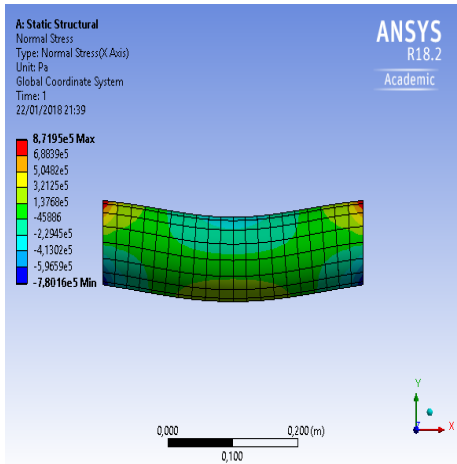
### 2º Caso: Resultados numéricos para o corpo de prova com $f_{ck}$ de 20 MPa

Novamente, utilizando-se a opção **Total Deformation**, pode-se notar que, de acordo com a Fig. 7a, o deslocamento máximo ocorreu no meio do vão, sendo distribuído pelo matiz de cores. Do mesmo modo, com a opção **Normal Stress** selecionada, tem-se a tensão normal em *Pascal* no eixo x (Fig. 7b). Pode-se verificar que, segundo as distribuições dos matizes de cores, as forças de compressão preponderantes na face superior do vão no qual a força foi aplicada, e, já na face inferior, as forças de tração. Portanto, verificou-se a tensão máxima de tração no meio do vão na parte inferior da peça.



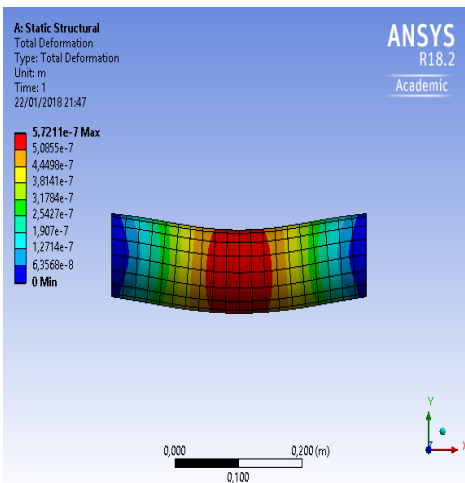


(a)

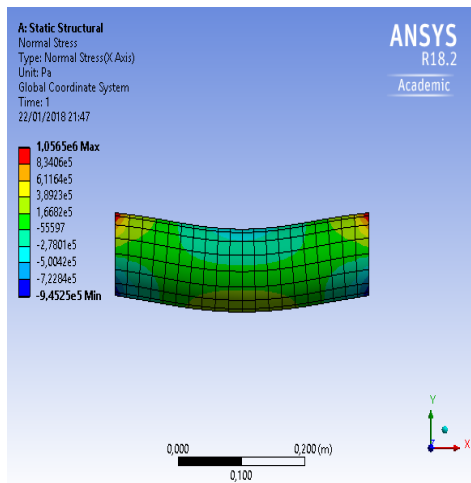


(b)

Figura 6 – (a) Deformação total e (b) tensão normal no eixo x da peça com  $f_{ck} = 15$  MPa.



(a)



(b)

Figura 7 – (a) Deformação total e (b) tensão normal no eixo x da peça com  $f_{ck} = 20$  MPa.

### 3º Caso: Resultados numéricos para o corpo de prova com $f_{ck}$ de 25 MPa

Como nos casos anteriores, utilizou-se a opção **Total Deformation** para obter a deformação total em metros da peça ocasionada pela aplicação da força de ruptura (Fig. 8a). O deslocamento máximo ocorreu no meio do vão, sendo distribuído pelo matiz de cores o qual quantifica os resultados por meio da barra vertical. Do mesmo modo, com a opção **Normal Stress** selecionada, tem-se a tensão normal em *Pascal* no eixo x (Fig. 8b). Pode-se verificar que, segundo as distribuições dos matizes de cores, no vão no qual a

força foi aplicada, na face superior tem-se as forças de compressão preponderantes e, já na face inferior, as forças de tração. Como ocorreu nos casos anteriores, a tensão máxima de tração ocorreu no meio do vão na parte inferior da peça.

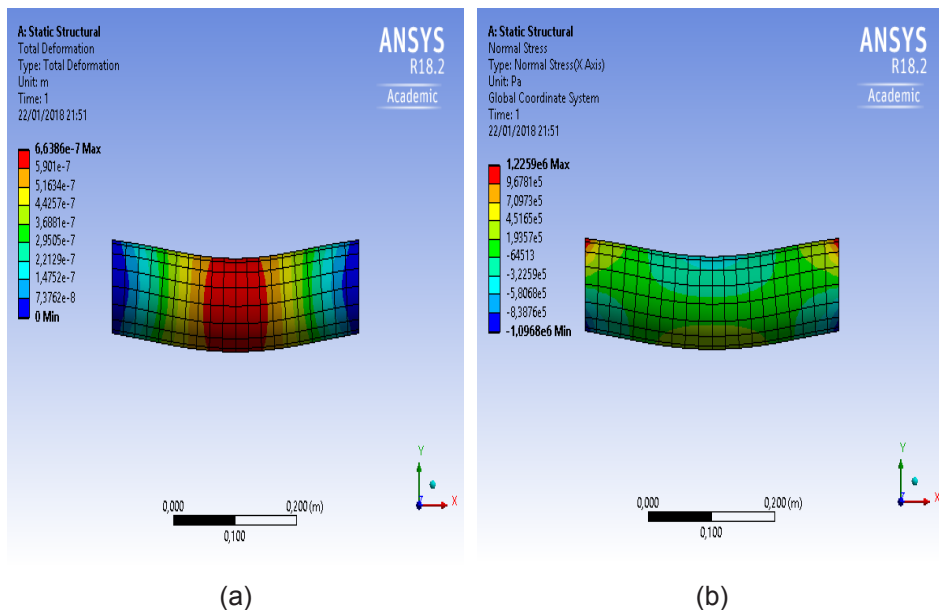
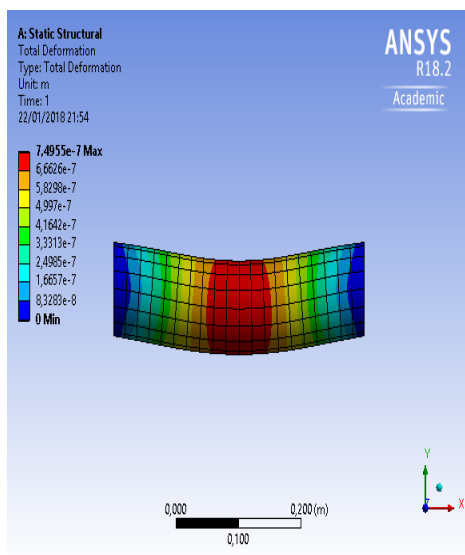


Figura 8 – (a) Deformação total e (b) tensão normal no eixo x da peça com  $f_{ck}=25$  MPa.

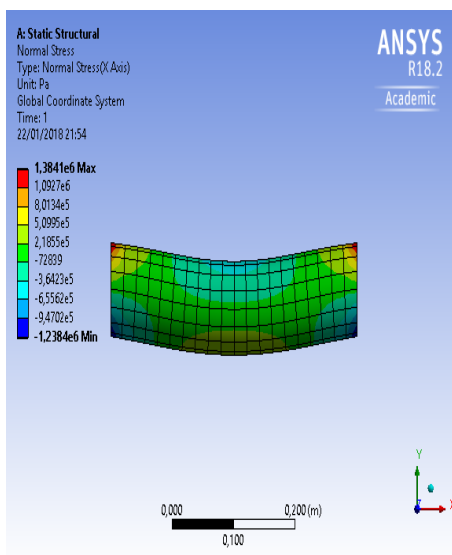
#### 4º Caso: Resultados numéricos para o corpo de prova com $f_{ck}$ de 30 MPa

A Figura 9a ilustra a deformação total em metros da peça ocasionada pela aplicação da força de ruptura utilizando-se novamente a função **Total Deformation**.

Da mesma forma, com a opção **Normal Stress** selecionada, tem-se a tensão normal em *Pascal* no eixo x (Fig. 9b). Pode-se verificar que, segundo as distribuições dos matizes de cores, no vão no qual a força foi aplicada, na face superior, tem-se as forças de compressão preponderantes e, já na face inferior, as forças de tração. Portanto, a tensão máxima de tração ocorreu no meio do vão na parte inferior da peça.



(a)



(b)

Figura 9 – (a) Deformação total e (b) tensão normal no eixo x da peça com  $f_{ck}=30$  MPa.

Assim, a simulação numérica do ensaio de flexão de vigas de geometria cilíndrica forneceu os resultados para os deslocamentos máximos no vão no qual a força de ruptura da peça foi aplicada (Tabela 4).

$f_{ck}$ (MPa)	Deformação máxima central (mm)
15	4,7219E-4
20	5,7211E-4
25	6,6386E-4
30	7,4955E-4

Tabela 4 - Deslocamento máximo no vão

Pode-se notar, através dos valores obtidos, que a deformação máxima da peça variou diretamente proporcional com o valor do  $f_{ck}$  do concreto. A resistência característica à compressão do concreto assegura que para alcançar o rompimento da peça foi preciso uma maior deformação, além de legitimar as propriedades elásticas e isotrópicas do concreto.

Verificou-se que a tensão normal de tração máxima aumentou de acordo com o  $f_{ck}$ . Ao giramos tridimensionalmente a peça para verificar o matiz de cores na parte inferior

obteve-se os dados descritos na Tabela 5 a seguir.

$f_{ck}$ (MPa)	Tensão Normal de Tração (MPa)
15	0,32125
20	0,38923
25	0,45165
30	0,50995

Tabela 5 - Tensão Normal de Tração no Meio do Vão

Esses dados ratificam novamente as propriedades iniciais do concreto de que com o aumento do  $f_{ck}$  ocorre um aumento na tensão de tração na parte central inferior da peça, por se tratar de um material elástico linear e isotrópico. A isotropia, linearidade e elasticidade do concreto foram constatadas com maior notoriedade pela Figura 10.

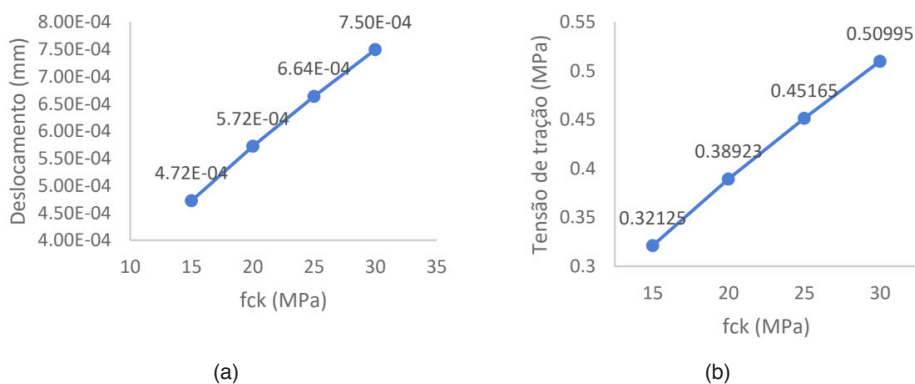


Figura 10 - (a) Taxa de deslocamento da deformação máxima central e (b) Tensão normal de tração

## 4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho utilizou-se o *software* ANSYS® para a simulação numérica de flexão de vigas cilíndricas, objetivando um estudo das propriedades da peça. Para tanto, modelou-se a viga, as constantes do material foram inseridas e as condições de contorno foram aplicadas formando, assim, o sistema estático desejado para o ensaio de flexão. Para a análise das características da peça, obteve-se a tensão normal de tração no meio do vão e a deformação máxima.

Foi realizada, inicialmente, a validação computacional usando um caso de viga de

aço submetida à tração axial, sendo que os resultados obtidos para a deformação total, a deformação específica da peça e a tensão normal no eixo  $x$  foram comparados com os analíticos obtidos utilizando-se os critérios de dimensionamento segundo a NBR 8800:2008 e apresentaram boa concordância.

A seguir, simulou-se a aplicação da força de ruptura em vigas cilíndricas para se analisar a relação entre a resistência à compressão do concreto para o rompimento da peça e a sua deformação, considerando a resistência característica à compressão do concreto de 15 MPa, 20 MPa, 25 MPa até 30 MPa. Os resultados corroboraram para o fato de que por se tratar de um material elástico linear e isotrópico, com o aumento do  $f_{ck}$  ocorre um aumento na tensão de tração na parte central inferior da peça de concreto.

Portanto, a simulação numérica de flexão de vigas cilíndricas através do software ANSYS® considerando outras geometrias de elementos estruturais pode ser realizada, em busca de outros resultados de interesse.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

DRIENOVSKÁ, J.; TVRDÁ, K. Deflection of a Beam Considering the Creep. **Procedia Engineering**, p. 459-463, 2017.

MULITERNO, B. K.; PRAVIA, Z. M. C. Modelos para Vigas de Concreto Armado. **Téchne**, n. 231, p. 1-16, 2016.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008**. 8a ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2009.

VICAN, J.; JANIK, P. Experimental and Numerical Analysis of Beam-column Resistance. **Procedia Engineering**, p. 280-285, 2014.

## THE USE OF BABASSU COCONUT FIBERS IN THE PRODUCTION OF CONCRETE

*Data de aceite: 01/03/2021*

*Data de submissão: 04/01/2021*

### **Wilson Alves Oliveira Junior**

Universidade Federal do Piauí - UFPI  
Teresina - PI  
<http://lattes.cnpq.br/8697242697170543>

### **Maria Elayne Rodrigues Alves**

Universidade Federal do Piauí - UFPI  
Teresina - PI  
<http://lattes.cnpq.br/6730439235097176>

### **Bruna Leal Melo de Oliveira**

Universidade Federal do Piauí - UFPI  
Teresina-PI  
<http://lattes.cnpq.br/0508828942202484>

### **João Batista de Oliveira Libório Dourado**

Universidade Federal do Piauí  
Teresina-PI  
<http://lattes.cnpq.br/3901869417384049>

### **Aluska do Nascimento Simões Braga**

Universidade Federal do Piauí - UFPI  
Teresina - PI  
<http://lattes.cnpq.br/2429557575387821>

### **Valdeci Bosco dos Santos**

Universidade Federal do Piauí - UFPI  
Teresina - PI  
<http://lattes.cnpq.br/0011700686113389>

the use of vegetable fibers as a possibility of mechanical reinforcement, has presented a great potential for technological application. The aim of this study was to investigate the mechanical properties of cementitious composite (concrete) reinforced by babassu coconut fibers. Alkaline treated fibers were characterized by X-ray diffraction and aspect ratio. Reinforced concrete with the addition of up to 1% fiber treated by cement mass, was characterized by Slump and Axial Compression Tests. The results for the treated fibers were compared to natural fibers, and showed an increase in crystallinity of 17%, as well as an increase of 10% in the aspect ratio. This is an indication of the effectiveness of the chemical treatment, which can contribute to a better interface between the treated fiber and the cementitious matrix. For the Slump Test, the conventional concrete (CC) showed 6.0 cm of workability, while reinforced concrete with 0.5% (CRF0.5%) and 1% (CRF1%) of treated fibers showed workability of 5.5 cm e 4.5 cm, respectively. The addition of 0.5% of treated fibers to the concrete, resulted in a positive influence on the compressive strength (increase around 4 MPa), in relation to the other concretes. The use of low volume of treated fibers combined with a possible good dispersion in the concrete mixture, may have contributed to the increase in the resistance of CRF0.5%.

**KEYWORDS:** Concrete, Reinforcement, Babassu coconut fiber, Workability, Compressive strength.

**ABSTRACT:** Worldwide, concrete is the most produced and consumed material by civil construction industry. Due to the sustainable development and a lower cost of this material,

## UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE COCO BABAÇU NA PRODUÇÃO DE CONCRETO

**RESUMO:** Mundialmente, o concreto é o material mais produzido e consumido pela indústria da construção civil. Visando o desenvolvimento sustentável e um custo menor deste material, o uso das fibras vegetais como possibilidade de reforço mecânico, tem apresentado um grande potencial de aplicação tecnológica. O objetivo deste estudo foi investigar as propriedades mecânicas dos compósitos cimentícios (concretos) reforçados por fibras de coco babaçu. Fibras tratadas alcalinamente, foram caracterizadas por difração de raios X e razão de aspecto. Concretos reforçados com adição de até 1% fibra tratada por massa de cimento, foram caracterizados pelos ensaios de Slump e Compressão Axial. Os resultados para as fibras tratadas foram comparados com os das fibras naturais, e demonstraram um aumento na cristalinidade de 17%, assim como um aumento de 10% na razão de aspecto. Isto é um indicativo da efetividade do tratamento químico, o qual pode contribuir para uma melhor interface entre fibra tratada e matriz cimentícia. Para o ensaio de Slump, o concreto convencional (CC) apresentou 6 cm de trabalhabilidade, enquanto que os concretos reforçados com 0.5% (CRF0.5%) e 1% (CRF1%) de fibras tratadas, apresentaram trabalhabilidade de 5.5 cm e 4.5 cm, respectivamente. A adição de 0.5% de fibras tratadas ao concreto, resultou em uma influência positiva para a resistência à compressão (aumento em torno de 4 MPa), em relação aos demais concretos. O uso de pequeno volume de fibras tratadas aliado a uma possível boa dispersão na mistura de concreto, pode ter contribuído para o aumento da resistência do CRF0.5%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto, Reforço, Fibra de coco babaçu, Trabalhabilidade, Resistência à compressão.

## 1 | INTRODUCTION

In recent years, due to sustainable development, plant fibers have been used in the possibility of mechanical reinforcement (ISLAM e AHMED, 2018; FERREIRA, S. R., *et al.*, 2015). Natural fibers are renewable materials, non-toxic and inexpensive for attainment (ONUAGULUCHI e BANTHIA, 2016). Its addition tends to improve the compressive strength, tensile strength, durability, hardness and ductility of cementitious composites (ONUAGULUCHI e BANTHIA, 2016). Alkaline treatments in natural fibers are frequently carried out, with the aim of increasing the adhesion between matrix/fiber, reducing the water absorption of the fiber during the mixing and, consequently, improving the mechanical properties (ONUAGULUCHI e BANTHIA, 2016; KIM e NETRAVALI, 2010).

The babassu (*Orbignya speciosa*) palm is one of the trees with the greatest economic potential, being much explored in the state of Piauí (FONTELLES, 2013). Specifically, the epicarp (fibers of the babassu coconut shell), is still little used in civil construction applications. In this context, the aim of this study was to investigate the compression properties of concrete reinforced by babassu coconut fibers.

## 2 | EXPERIMENTAL PROCEDURE

In this study, Portland cement (CP II), sand, aggregate, water and babassu coconut fibers were used. The epicarp fibers of the fruit were supplied by Babcoall Inc. do Brasil LTDA associated to the Agribusiness Incubator of the Federal University of Piauí (INEAGRO).

Babassu coconut fibers retained in the # 30 mesh (opening diameter, 0.59 mm) of the Test Sieves, were first cleaned in water, then cleaned in NaOH solution and distilled water again, until reaching the pH equal to 7. Then, the fibers were dried at 60°C/24 h, cooled and stored in a desiccator, before being added to the concrete mixture. The crystallinity index (CI) of the fiber was estimated from the X-ray diffractograms. The length (l) and diameter (d) of the fibers were evaluated by respectively, a digital caliper and micrometer.

In this study, it was prepared concrete without fiber (conventional concrete - CC) and fiber reinforced concrete (CRF), in the percentages of treated fibers of 0.5 and 1.0% (m/m), relative to cement. The workability of the fresh concrete was performed by the Slump Test according to ASTM C143. The mechanical performance of the concrete was evaluated under compression conditions (ABNT NBR 5739), after 28 days of cure.

## 3 | RESULTS AND DISCUSSION

The crystallinity index (CI) and aspect ratio (l/d) of babassu coconut fibers are shown in Table 1. The CI for FT (treated fibers) was 58.71%, what is higher than for FN (natural fibers, 41.63%). This increase of 17%, is an indicative of an increase in the crystalline domain present in FT. This can be attributed to a partial removal of the constituents such as hemicellulose, lignin and wax from the surface of the fiber, and thus revealing the cellulose for NaOH-treated fibers (OUSHABI *et al.*, 2017). Equally, a slight increase (10%) in the fiber aspect ratio, after chemical treatment, showed that this can lead to a greater interfacial contact between FT and cementitious matrix.

Sample	CI (%)	Aspect Ratio
FN	41.63	116.95
FT	58.71	129.67

Table 1 – Characteristics of babassu coconut fibers.

Source: Author himself (2019).

Through the results of Slump Tests (Figure 1), it was possible to verify the workability of fresh concrete. Compared to the CC sample (6.0 cm of workability), the results demonstrated a decrease in the workability for CRF0.5% and CRF1%, respectively, of 5.5



cm and 4.5 cm. Therefore, the addition of FT slightly altered the mass consistency, possibly by the use of short and alkaline fibers, and addition of low volume (CLARAMUNT, J. *et al.*, 2016).

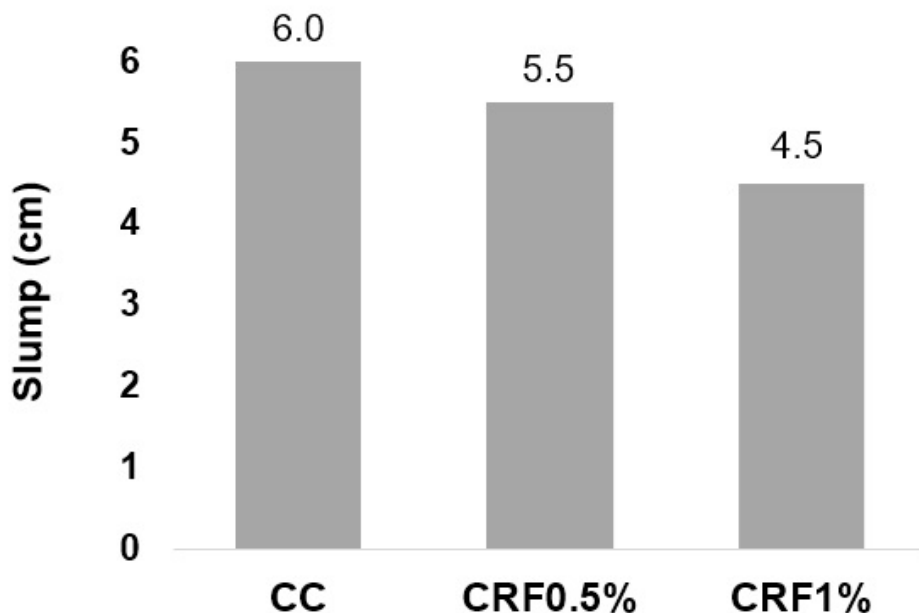


Figure 1 - Slump of fresh concrete mix.

Source: Author himself (2019).

Figure 2 shows the results of average compressive strength of concrete, after 28 days. As observed, the resistance of the CRF0.5% sample (28.18 MPa) was higher compared to CC (24.98 MPa) and CRF1% (24.61 MPa), respectively, of 12.81% and 14.51%. In addition to not significantly changing the consistency of the fresh mixture, this increase in mechanical strength may be related to a possible good dispersion and mixing of this content of 0.5% of fibers treated with babassu coconut in the hardened samples.

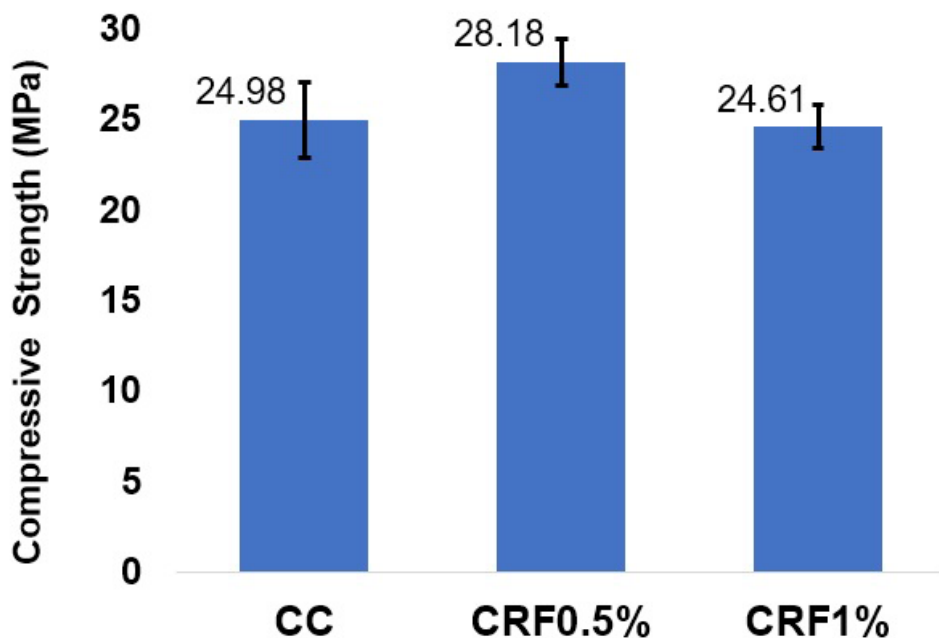


Figure 2 - Compressive strength of concrete.

Source: Author himself (2019).

For the CRF1% sample, the mechanical performance was considered satisfactory. Its resistance is very close to the CC sample, and exceeds the minimum compressive strength (20 MPa) allowed for some structural applications (without compromising performance), according to ABNT NBR 6118.

#### 4 | CONCLUSIONS

The results obtained demonstrated that the babassu coconut treated fibers showed an increase of 17% in their crystallinity, as well as an increase (10%) in their aspect ratio. This is an indicative of the efficiency of the alkaline treatment, which can contribute to increase the treated fiber/cement matrix contact area, and consequently, improve the properties of interest of the reinforced concrete.

The results of the compressive strength showed an increase of up to 15% for concrete with the addition of 0.5% of babassu coconut treated fibers, in comparison to the other concrete samples. This is a consequence of a reasonable workability of the mass, as well as for the use of low volume and possible good dispersion of the fibers, which may have promoted lower porosity and greater mechanical resistance for the hardened sample of CRF0.5%.

## ACKNOWLEDGMENT

The authors acknowledge the PIBITI-PROPEQ/CNPq/UFPI for Scientific Initiation scholarship, the Laboratories of Civil and Mechanical Engineering/UFPI, LIMAV/UFPI, and Babcoall Inc. do Brasil LTDA for supplying the fibers used in the concrete.

## REFERENCES

American Society for Testing and Materials. ASTM C143: **Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete**. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5739: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

CLARAMUNT, J., FERNÁNDEZ-CARRASCO, L., J., VENTURA, H., ARDANUY, M. **Natural fiber nonwoven reinforced cement composites as sustainable materials for building envelopes**. *Construction and Building Materials*, 115 (2016), 230-239.

FERREIRA, S., R., PEPE, M., MARTINELLI, E., SILVA, F., A., Toledo Filho, R., D. **Influence of natural fibers characteristics on the interface mechanics with cement based matrices**. *Composites Part B: Engineering*, 140 (2018), 183-196.

FONTELES, C., A., L. **Compósitos poliméricos à base de matriz termofixa e coco babaçu (*Orbignya phalerata*): análise por sorção de água e propriedades mecânicas**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Pós Graduação em Ciência e Engenharia da Materiais, Universidade Federal do Piauí, Piauí, 2013.

ISLAM, M., S., and JU AHMED, S. **Influence of jute fiber on concrete properties**. *Construction and Building Materials*, 189 (2018), 768-776.

KIM, J., T., and NETRAVALI, A., N. **Mercerization of sisal fibers: Effect of tension on mechanical properties of sisal fiber and fiber-reinforced composites**. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41 (2010), 1245-1252.

ONUAGULUCHI, O., and BANTHIA, N. **Plant-based natural fibre reinforced cement composites: A review**. *Cement and Concrete Composites*, 68 (2016), 96-108.

USHABI, A., SAIR, S., HASSANI, F., O., ABBOUD, Y., TANANE, O., BOUARI, A., EI. **The effect of alkali treatment on mechanical, morphological and thermal properties of date palm fibers (DPFs): Study of the interface of DPF–Polyurethane composite**. *South African Journal of Chemical Engineering*, 23 (2017), 116-123.

## RECICLAGEM DO POLIPROPILENO PARA OBTENÇÃO DO COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM PÓ DE OSTRA

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 23/01/2020

### Terezinha Jocelen Masson

Universidade Presbiteriana Mackenzie  
São Paulo– São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/7538523685244929>  
<https://orcid.org/0000-0002-1339-637X>

### Rafael dos Santos Lima

Universidade Presbiteriana Mackenzie  
São Paulo– São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/3210173643984030>

**RESUMO:** O presente trabalho estudou e caracterizou o compósito desenvolvido com polipropileno reciclado (PP<sub>r</sub>) reforçado com pó de ostra (P<sub>o</sub>), um material cerâmico particulado, obtendo-se os compósitos C<sub>1</sub>: (97%PP+3%P<sub>o</sub>); C<sub>2</sub>: (93%PP+ 7%P<sub>o</sub>) e C<sub>3</sub>: (90%PP+10%P<sub>o</sub>). O polipropileno é uma resina de baixa densidade que oferece um bom equilíbrio de propriedades térmicas, químicas e elétricas, cujas resistências podem ser significativamente aumentadas ou melhoradas com a adição de materiais de reforços. A ostra é um molusco que possui corpo mole protegido por uma concha, que é constituída basicamente por carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), um alimento retirado do mar, utilizada em grandes quantidades pelos restaurantes, que utilizam o seu interior e descartam a sua casca (*Crassostrea gigras*) no meio ambiente. Essa casca, após lavada e tratada, constitui um material (pó de ostra) com elevada dureza, que

pode ser utilizada como um reforço particulado em matrizes poliméricas, além de contribuir com a sustentabilidade do meio ambiente. O pó de ostra (P<sub>o</sub>) foi incorporado ao PP nas proporções 3%, 7% e 10%, utilizando-se um misturador. Os corpos de prova foram preparados por fusão e em seguida, moldadas por injeção. O comportamento reológico dos corpos de prova foi realizado por meio do ensaio Índice de Fluidez e foram submetidos aos ensaios de caracterização mecânica: ensaio de resistência a tração, resistência à flexão, resistência ao impacto Izod; ensaios de caracterização térmica: temperatura de Distorção Térmica (HDT) e temperatura de amolecimento Vicat. Observou-se que os compósitos de PP reforçados com pó de ostra (P<sub>o</sub>) se apresentaram como uma alternativa viável para diversas aplicações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Polipropileno. Pó de Ostra. Preservação Ambiental.

### POLYPROPYLENE RECYCLING TO OBTAIN THE POLYMERIC COMPOSITE REINFORCED WITH OYSTER POWDER

**ABSTRACT:** The present work studied and characterized the composite developed with recycled polypropylene (PP<sub>r</sub>) reinforced with oyster powder (Po), a particulate ceramic material, obtaining the composites C1: (97% PP + 3% Po); C2: (93% PP + 7% Po) and C3: (90% PP + 10% Po). Polypropylene is a low density resin that offers a good balance of thermal, chemical and electrical properties whose strengths can be significantly increased or improved by the addition of reinforcement materials. The oyster is a shell-clam soft body, which is basically

composed of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ), a food taken from the sea, used in large quantities by restaurants that use its interior and discard its shell (*Crassostrea gigas*) in the environment. After being washed and treated, this shell is a material (oyster powder) with high hardness that can be used as a particulate reinforcement in polymeric matrices, besides contributing to the sustainability of the environment. Oyster powder (PO) was incorporated into PP in 3%, 7% and 10% proportions using a mixer. The specimens were prepared by melting and then injection molded. The rheological behavior of the specimens was carried out by the Fluidity Index test and were subjected to the mechanical characterization tests: tensile strength, flexural strength, Izod impact strength; Thermal characterization tests: Thermal Distortion Temperature (HDT) and Vicat Softening Temperature. Oyster powder reinforced PP (PO) composites were found to be a viable alternative for several applications.

**KEYWORDS:** Polypropylene. Oyster powder. Environmental Preservation.

## 1 | INTRODUÇÃO

A utilização de polímeros é crescente no cotidiano das pessoas e dados estatísticos apontam que mais de 52 milhões de toneladas de *commodities* são produzidos e despejados no meio ambiente. Dessa forma, é necessário o desenvolvimento de estudos para reaproveitar esses materiais descartados, pois quando não são enviados para a reciclagem, demoram décadas até séculos para se decompor. O acúmulo dessas substâncias no meio ambiente causa poluição, degradação ambiental, e prejudica todo o ecossistema terrestre.

A reciclagem é um processo de transformação dos materiais previamente triados para posterior utilização; é a recuperação de resíduos mediante uma série de operações, que permite que materiais processados sejam aproveitados como matéria-prima no processo gerador ou em outros (HOLGUIM, 2015). Se for desenvolvido um bom programa de reciclagem, que tenha características econômicas e ambientais favoráveis, pode-se estender a utilização desses materiais, inclusive fazendo-se substituições e provavelmente a ecologia determine a economicidade do processo (SILVA, 2015). A reciclagem além de evitar o esgotamento da matéria-prima, o seu processo gera renda para muitas famílias (durante a coleta, em linha de produção, ou nas mãos de artesãos), reduz o consumo de água e energia elétrica, pois gasta-se menos recursos ao reaproveitar os materiais que a extração de recursos.

Os compósitos são materiais produzidos para se incorporar as características de dois ou mais materiais diferentes. Inúmeros materiais particulados têm sido usados como carga em compósitos poliméricos para conferir melhores propriedades como temperatura de distorção ao calor e resistência a fluência. Este trabalho utilizou a matriz de polipropileno, pelo seu consumo elevado, gerando grande quantidade de materiais descartáveis, em residências, em universidades, lugares públicos e festas, uma vez que copos e pratos descartáveis são produzidos com esse material.

Segundo Sant'Anna (2007), com o crescimento da maricultura no Brasil, que

compreende as atividades humanas desenvolvidas nos ambientes aquáticos de água salgada, também aumentou significativamente os impactos ambientais gerados por esta atividade. Em busca de uma maricultura sustentável, é importante uma correta destinação dos resíduos, principalmente das conchas de ostras.

## 1.1 Objetivo

Obtenção de materiais compósitos poliméricos, a partir de materiais totalmente reciclados (matriz de polímero reciclado) reforçado com pó de ostra, para aplicações nos mais diferentes ramos da indústria (desde automobilístico, até utilidades domésticas).

Encontrar novas formas e novos processos para que materiais plásticos descartáveis possam ser tratados pós-consumo, contribuindo com para a redução de níveis de poluição, preservação ambiental e da flora e fauna do Brasil.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Polímeros

Polímeros são materiais que apresentam uma longa cadeia formada por unidades repetitivas denominadas monômeros que se apresentam em elevado número, constituindo uma macromolécula orgânica e podendo ser de origem sintética ou natural.

Os polímeros são formados por átomos de carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, flúor e outros elementos não metálicos. A ligação química entre cada cadeia é covalente, enquanto que a ligação intercadeias é fraca. O grau de polimerização é definido como o número médio de unidades repetitivas que constituem as cadeias, macromoléculas que formam o material polimérico (ANTUNES, 2012). As tecnologias atuais exigem materiais com combinações incomuns de propriedades que não podem ser atendidas pelas ligas metálicas, cerâmicas e materiais poliméricos convencionais e estudos ressaltam a necessidade de materiais mais rígidos, leves, resistentes, e que ao mesmo tempo não sejam facilmente corroídos.

Os compósitos podem ser considerados como sendo qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que os constituem de tal forma que seja obtida uma melhor combinação de propriedades (CALLISTER, 2012).

### 2.2 Polipropileno (PP)

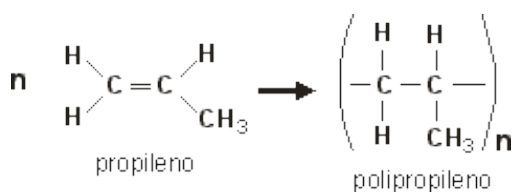
Em virtude de sua versatilidade de projeto a nível molecular, o polipropileno tem sido reconhecido como um bom material polimérico (MIRANDA et al, 2010).

O Polipropileno (PP) é um dos materiais termoplásticos mais utilizados e comercializados nos diversos ramos da indústria, para a obtenção de polímeros carregados ou reforçados (BEATRICE et al, 2010; CALLISTER, 2012). É classificado dentro da categoria dos polímeros com aplicações em engenharia, devido à sua grande versatilidade

aliada ao bom desempenho em diversas condições.

O PP é um termoplástico obtido pela polimerização do monômero chamado propileno (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>) com grande variedade de massa molar, e é polimerizado por um processo de reação de poliadição (GIANELLI, FERNANDES, 2016). É um polímero semicristalino com densidade na faixa de 0,85 a 0,95 g/cm<sup>3</sup> e índice de refração de 1,45. A sua temperatura de transição vítrea é aproximadamente -18°C e a temperatura de fusão é em torno de 165°C (CALISTER, 2012). São dois os tipos de PP: a) *homopolímeros*: sua polimerização é feita apenas com o propeno – monômero do polipropileno, e sua cadeia polimérica é composta por meros do mesmo tipo; b) *copolímeros*: têm sua cadeia composta principalmente por propeno e eteno em sua polimerização (tem sua cadeia composta por dois ou mais meros diferentes).

O esquema 1 apresenta a equação da reação de obtenção do polipropileno.



Esquema 1: Reação de obtenção do polipropileno

Devido a longa cadeia e o emaranhamento dos polímeros, os polímeros não são totalmente cristalinos. A temperatura de fusão do polímero (T<sub>m</sub>) é sempre maior que a temperatura de transição vítrea (T<sub>g</sub>). Assim, o polímero pode ser rígido e duro ou flexível. O desenvolvimento da cristalinidade em polímeros depende da regularidade da estrutura no mesmo.

Os compósitos de polipropileno foram desenvolvidos utilizando resinas diferenciadas, que permitem uma ampla gama de variações estruturais e morfológicas nos diferentes tipos de homopolímeros e copolímeros produzidos.

### 2.3 Reciclagem

Reciclagem é o processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em novos insumos ou novos produtos.

Para que ocorra a reciclagem de um produto existem alguns fatores que são necessários para viabilizar o processo, é necessário que haja demanda para o produto resultante da reciclagem, existência de tecnologia para efetivar a transformação de resíduos, o custo envolvido no processo e proximidade do local de geração com o local de reciclagem do produto (CORRÊA, HEEMANN, 2016).

Os polímeros são considerados grandes vilões ambientais, pois podem demorar séculos para se degradar e ocupam grande parte do volume dos aterros sanitários. Em média um copo plástico feito de polipropileno demora 50 anos para se degradar (PIVA; WIEBECK, 2004).

Resíduos poliméricos quando descartados em lugares inadequados, como lixões, rios e encostas, causam grande impacto ao meio ambiente. São responsáveis por enchentes, assoreamento das calhas dos rios e formação de verdadeiras ilhas de poluição em oceanos além dos danos que causam na fauna marinha (HOLGUIM, 2015).

No Brasil dão reciclados cerca de 953.000 toneladas de resíduo, porém esse número é ainda pequeno sendo que representa apenas 21% do volume produzido, quando comparado com Suíça que recicla cerca de 51% dos resíduos gerados.

Como princípios a reciclagem utiliza os 3R's:

- Redução – Consiste em ações que visem a diminuição de resíduos, seja por meio de minimização na fonte ou por meio de redução do desperdício;
- Reutilização – Ações que possibilitam a utilização para outras finalidades, otimizando ao máximo seu uso antes do descarte final;
- Reciclagem – É um conjunto de técnicas que tem por finalidade aproveitar os resíduos, e reutilizá-los no ciclo de produção que saíram.

O trabalho vai objetivar a reciclagem mecânica, que consiste na conversão dos descartes plásticos pós-industriais ou pós-consumo em grânulos que podem ser reutilizados na produção de outros produtos plásticos após submetidos à um processo.

O processo de reciclagem mecânica possui cinco etapas:

Separação → Moagem → Lavagem → Aglutinação → Extrusão

## 2.4 Pó de ostra (P<sub>o</sub>)

A maricultura, ramo específico da aquicultura, está relacionada à produção de organismos aquáticos em águas marinhas, envolve o cultivo de peixes, de moluscos, camarões e algas. Já o termo ostreicultura é utilizado para o cultivo de ostras (PETRILLI, 2008). No Brasil a maricultura vem se desenvolvendo rapidamente e é no Estado de Santa Catarina que se concentra grande parte do cultivo de moluscos, e o país está em segundo lugar como grande produtor na América Latina. Mundialmente, os maiores produtores são: China, Peru, Japão, Índia e Estados Unidos, e o Brasil ocupa atualmente a 27ª posição deste ranking.

A ostra, como a maioria dos moluscos, possui corpo mole, protegido por uma concha. A concha é constituída basicamente por carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), que é retirado diretamente da água do mar com auxílio de glândulas localizadas no manto, que é a camada que envolve as conchas internamente. Essas conchas podem ser utilizadas no ramo agrícola e no ramo industrial após o seu tratamento. O carbonato de cálcio é utilizado



em pasta de papel, mármore compacto para pavimentos e revestimentos, adubos, indústria de cerâmica, tijolos, tintas, carga de polímeros, entre outros (COSTA, et al, 2012).

Casca de ostras, uma boa fonte de CaCO<sub>3</sub>, com grande produção e pouca reutilização, é um material de fonte natural que já é utilizado na indústria farmacêutica, mas muito pouco na indústria de polímeros. A ideia deste projeto é ampliar o uso de tal material para uso em compósitos com polipropileno, uma vez que este vem sendo usado cada vez mais, não só como produtos simples, mas como materiais de engenharia que necessitam de especificações especiais, reforçados, com maior resistência térmica, rigidez e dureza por exemplo. (SANT'ANNA, et al., 2007; PETRIELLI, 2008).

Pesquisas abordando o uso de conchas de ostras ainda são poucas, principalmente no Brasil, onde a atividade de cultivo desse molusco é muito recente (MENDONÇA et al, 2017).

Na Coreia, desde o início dos anos 1980 pesquisadores procuram soluções para a utilização das conchas de ostras (COSTA, et al, 2012). Devido à grande quantidade de casca de ostras (*crassostrea gigras*) produzida, se torna um grave problema ambiental e o governo incentiva pesquisadores a buscarem soluções viáveis.

## 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Materiais

As formulações utilizadas são constantes da Tabela 1 e os dados dos materiais utilizados, foram obtidos a partir de determinações experimentais ou extraídos da literatura fornecida pelos fabricantes.

Material		Observações
Matriz Polimérica Polipropileno recilado (PP,)	Resultante da coleta de Copos Descartáveis	Preparado no Laboratório de Materiais da UPM
Reforço Particulado Pó de ostra	CYSY Calcário e Conchas	Composição: Conchas marinhas e carbonato de cálcio Cálcio: 370g/kg Impurezas: 30g/kh Matéria Mineral: 970g/kg Umidade máxima: 2,5% Granulometria: 3,2 a 5,0mm

Tabela 1: Materiais Utilizados

#### 3.1.1 Termoplástico Polipropileno Modificado

A formulação dos corpos de prova é constante da Tabela 2.

Denominação	Formulações	Composição
C <sub>0</sub> - PP <sub>puro</sub>	Matriz polipropileno (PP)	100% PP
C <sub>1</sub>	PP <sub>r</sub> com 3% de pó de ostra	97%PP <sub>r</sub> + 3%P <sub>O</sub>
C <sub>2</sub>	PP <sub>r</sub> com 7% de pó de ostra	93%PP <sub>r</sub> + 7%P <sub>O</sub>
C <sub>3</sub>	PP <sub>r</sub> com 10% de pó de ostra	90%PP <sub>r</sub> + 10%P <sub>O</sub>

Tabela 2: Composição das formulações Experimentais Obtidas

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Lavagem e Separação de Material (PP)

Os copos de PP coletados pelo setor de reciclagem da Universidade Presbiteriana Mackenzie, foram higienizados (lavados e em seguida foi realizada limpeza e separação de pequenas impurezas que estavam junto ao material coletado).

A limpeza foi realizada com água corrente e colocados para secar em temperatura ambiente, como apresentado na Figura 1.



Figura 1 – Copos Coletado em Processo de Secagem

### 3.2.2 Trituração e Preparação de Material

O material foi processado em aglomeradora, para compactar e ficar mais fácil a trituração do material, conforme a Figura 2.



Figura 2 – Material Triturado

Depois de aglomerado o material foi colocado em moinho de facas SEIBT, conforme Figura 3, resultando num material granulado para ser misturado de forma correta ao pó de ostra. O pó de ostra, nas proporções de 3%, 7% e 10% à matriz de polipropileno reciclado ( $PP_R$ ) e com o auxílio de uma balança analítica as massas de matriz e carga foram aferidas e as concentrações separadas, conforme Fotografia 4..



Figura 3 – Moinho de Facas SEIBT

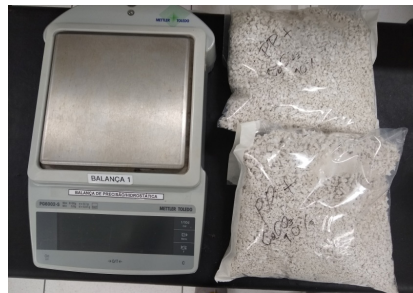


Figura 4 –  $PP_R$  e Pó de Ostra ( $P_O$ )

A mistura dos materiais foi realizada, por fusão, em um homogeneizador MH, conforme Fotografia 5. Depois de homogeneizado o material novamente foi levado ao moinho de facas para transformar o material em pequenas partículas para ficar mais fácil a moldagem, conforme Figura 6.



Figura 5 – Misturador MH

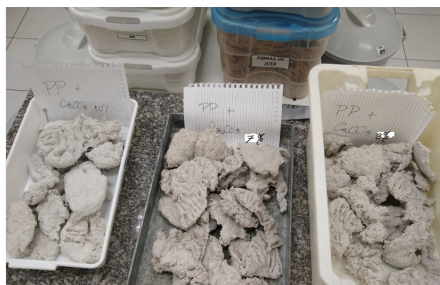


Figura 6 –  $(PP_R + P_O)$  Homogeneizado

### 3.2.3 Preparação dos Compósitos

Foram preparados os corpos de prova:  $PP_{\text{puro}}$ ;  $C_1$ : 97%PP+3% $P_O$ ;  $C_2$ : 93%PP+ 7% $P_O$  e  $C_3$ : 90%PP+10% $P_O$  e injetados, para realizar os testes e a sua caracterização nos ensaios: reológico, mecânicos (ensaios de resistência à tração, à flexão de três pontos, ao impacto) e os térmicos (HDT e Vicat). Os corpos foram conformados com parâmetros de pressão de 1750 bar, velocidade de injeção 114 cm/s, temperatura no bico injetor de 240° C.

### 3.2.4 Caracterização dos corpos de prova

As amostras foram caracterizadas por:

**a) Ensaio Reológico:** Índice de Fluidez, conforme norma ASTM D1238. A adição do material de reforço particulado geralmente reduz o índice de fluidez dos polímeros, pois a presença de partículas na matriz polimérica restringe a mobilidade das macromoléculas, dificultando o fluxo do polímero fundido e conseqüentemente aumentando a sua viscosidade.

**b) Ensaios Mecânicos:** Resistência à Tração (ASTM D 638-94), Resistência à Flexão (ASTM D 790), Resistência ao Impacto (norma técnica ASTM D 256-94).

#### c) Caracterização Térmica

- Temperatura de Distorção Térmica- HDT ou temperatura de deflexão ao calor, é obtida em ensaios normalizados que necessitam de um banho de óleo ou uma câmara com circulação de ar, com eficiente controle da temperatura. No procedimento do ensaio, segundo a norma ASTM D 648, a amostra com dimensões de 127 mm de comprimento, 13 mm de espessura e qualquer largura entre 3 e 13 mm, é colocada num suporte com dois apoios distantes 100 mm, e uma tensão de 455 kPa (66 psi) ou 1820 kPa (264 psi), é aplicada no centro do corpo-de-prova. A temperatura na câmara ou no banho é aumentada a taxa de 2°C/min. A temperatura na qual o corpo-de-prova defletir 0,25 mm (0,01 pol) é definida como temperatura de deflexão ao calor (HDT) para 455 kPa ou 1820 kPa de tensão. HDT é um ensaio útil na comparação do comportamento relativo de vários polímeros nas condições do teste, mas é principalmente útil para os objetivos de controle e desenvolvimento de materiais poliméricos.

- Temperatura Amolecimento Vicat, conforme norma técnica ASTM D1525.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As formulações obtidas são constantes da Tabela 2, sendo Polipropileno (PP<sub>r</sub>), Pó de Ostra (P<sub>o</sub>).

### 4.1 Resultados dos ensaios de índice de fluidez

Os ensaios para a medida referencial do índice de fluidez (IF) foram realizados no Plastômetro Tinius Olsen, modelo MP993a, conforme pode ser visualizado na Figura 7. Os ensaios foram realizados segundo a norma ASTM D1238, utilizando a condição E (temperatura T = 230°C e massa M = 2,160kg).



Figura 7 – Plastômetro Tinius Olsen MP993a.

Os compósitos estavam na forma de grânulos irregulares, coletados após a etapa de extrusão em rosca dupla. A Tabela 3 apresenta os valores do IF nas condições g/10min, 230°C, 2,16 kgf, obtidos para os compósitos PP/T\*.

Formulações	C <sub>0</sub> (PP <sub>r</sub> )	C <sub>1</sub> 97%PP+3%P <sub>o</sub>	C <sub>2</sub> 93%PP+ 7%P <sub>o</sub>	C <sub>3</sub> 80%PP+10%P <sub>o</sub>
IF	8,905 ± 0,065	9,744 ± 0,045	9,840 ± 0,028	9,911 ± 0,026

Tabela 3 - Resultados dos Valores Médios do Índice de Fluidez (IF)

A partir da Tabela 3, foi elaborado o Gráfico da Figura 8.

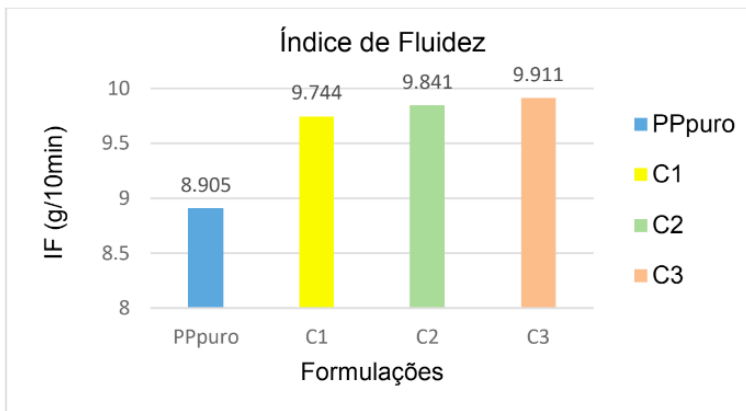


Figura 8 – Diagrama do Resultados dos ensaios de Índice de Fluidez (IF)

A partir da Tabela 3 e do Figura 8, observou-se que em relação ao PPpuro, C<sub>1</sub> apresentou em acréscimo de aproximadamente 9,4%, C<sub>2</sub> (10,2%) e C<sub>3</sub> (11,3%). Os resultados do índice de fluidez, aumentaram com o número de ciclos, sugerindo que ao longo do reprocessamento o material sofre uma degradação que leva à quebra de cadeias, o que reduz a massa molar do polímero e consequentemente, a sua viscosidade, aumentando o índice de fluidez.

## 4.2 Ensaios mecânicos

### 4.2.1 Ensaios de Resistência à Tração

Os ensaios de tração foram realizados segundo a ASTM D 638-94, com 10 ensaios para cada composição. As medições foram realizadas em Máquina Universal de Ensaios Zwick/Roel com célula de carga 500 kgf. A Tabela 4 apresenta os valores médios da resistência à tração obtidos para o polipropileno puro reciclado (PP) e para os compósitos C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub>, devidamente acompanhados do seu desvio padrão.

Formulações	C <sub>0</sub> (PP <sub>0</sub> )	C <sub>1</sub> 97%PP+3%P <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> 93%PP+ 7%P <sub>0</sub>	C <sub>3</sub> 80%PP+10%P <sub>0</sub>
σ (MPa)	20,0 ± 3,1	30,2 ± 3,2	30,0 ± 2,9	28,2 ± 3,5

Tabela 4 - Resultados dos Valores Obtidos de Resistência à Tração (σ)

A partir da Tabela 4, elaborou-se o diagrama de barras, constante da Figura 9.

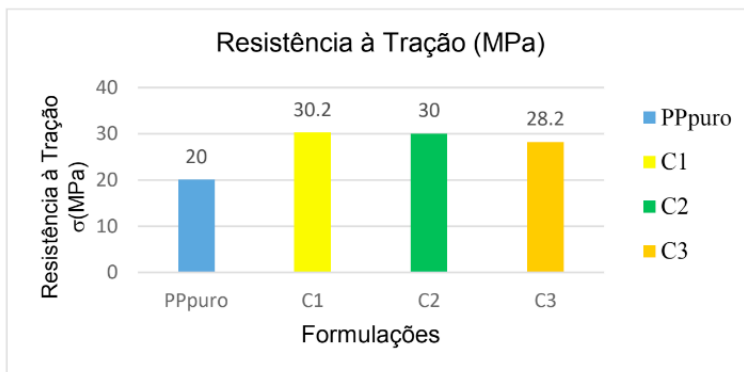


Figura 9 – Resultados dos Ensaio de Resistência à Tração

A partir da Tabela 4 e do Gráfico da Figura 9 observou-se que o valor da resistência à tração do compósito  $C_1$  é aproximadamente 51% maior que o do  $PP_{puro}$ ; do  $C_2$  é aproximadamente 50% maior que o do  $PP_{puro}$ ; do  $C_3$  é aproximadamente 41% maior que o do  $PP_{puro}$  reciclado, os valores de  $C_1$  e  $C_2$  praticamente se equivalem e  $C_3$  é aproximadamente 6% menor que o valor de  $C_1$  e que  $C_2$ .

A Tabela 5 e a Figura 10 apresentam os resultados do alongamento na ruptura.

Formulações	$C_0$ ( $PP_r$ )	$C_1$ 97% $PP$ +3% $P_O$	$C_2$ 93% $PP$ + 7% $P_O$	$C_3$ 90% $PP$ +100% $P_O$
$\epsilon_T$ (%)	25,0 ± 3,5	27,0 ± 2,0	27,0 ± 0,8	25,0 ± 7,4

Tabela 5 - Resultados Obtidos no Ensaio Alongamento na Ruptura ( $\epsilon_T$ )

A partir da tabela 6, elaborou-se o Gráfico 3.

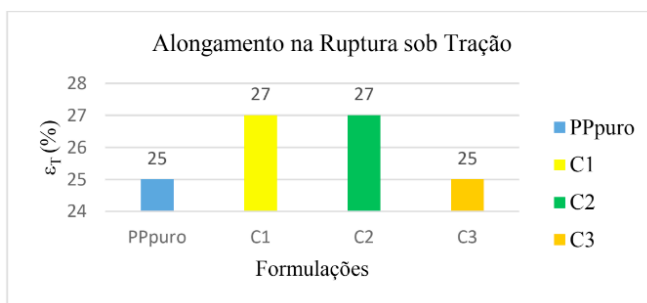


Figura 10 – Alongamento na Ruptura sob Tração

A partir da Tabela 6 e do Gráfico da Figura 10 observou-se que os valores obtidos no alongamento na ruptura, para as formulações  $C_1$  e  $C_2$  são 8% maiores que os valores para o PP<sub>puro</sub> reciclado. Os valores para  $C_3$  são 8% menor que os valores de  $C_1$  e  $C_2$ .

#### 4.2.2 Ensaio de Flexão – Resistência à Flexão (Mpa) e Módulo de Flexão (Mpa)

O ensaio de flexão foi realizado segundo a ASTM D 790-94, com 10 ensaios para cada composição, em Máquina Universal de Ensaio, com célula de carga 500 kgf. Para cada corpo-de-prova determinou-se a Resistência à flexão ( $\sigma_f$ ) e o Módulo de elasticidade sob flexão ( $\sigma_F$ ). A Tabela 7 apresenta os valores da resistência à flexão obtidos para o polipropileno puro reciclado (PP<sub>r</sub>) e para os compósitos  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ .

Formulações	$C_0$ (PP <sub>r</sub> )	$C_1$ 97%PP+3%P <sub>o</sub>	$C_2$ 93%PP+ 7%P <sub>o</sub>	$C_3$ 90%PP+10%P <sub>o</sub>
Valor Médio (Mpa)	32,7 ± 2,7	110 ± 4	113 ± 2	110 ± 2

Tabela 6 - Resultados dos Valores Obtidos de Resistência à Flexão (Mpa)

A partir da Tabela 6 elaborou-se o Gráfico 4 conforme Figura 11 dos valores da resistência à flexão obtidos para o polipropileno puro reciclado (PP<sub>r</sub>) e para os compósitos  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ .

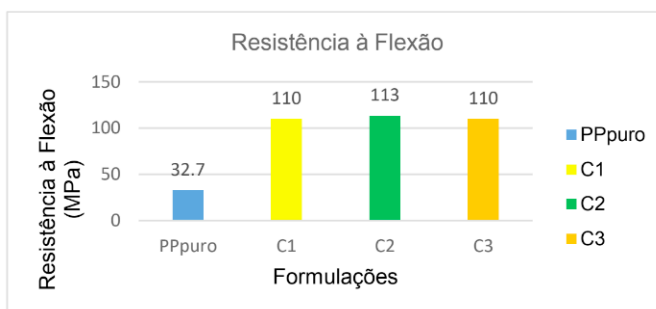


Figura 11 – Resistência à Flexão

A partir da Tabela 6 e do Figura 11 observou-se um acréscimo aproximado de 236% nos valores a flexão da formulação  $C_1$  em relação ao PP<sub>puro</sub> reciclado; de 246% nos valores de  $C_2$  em relação ao PP<sub>puro</sub>; e 236% nos valores de  $C_3$  em relação ao PP<sub>puro</sub>.

A Tabela 7 apresenta os valores médios obtidos nos ensaios do Módulo de Elasticidade à Flexão (MPa) entre o PP<sub>puro</sub> reciclado (PP<sub>r</sub>) e as formulações citadas,  $C_1$ ;  $C_2$  e  $C_3$ .



Formulações	$C_0$ : PP <sub>F</sub> $E_F$ (MPa)	$C_1$ $E_F$ (MPa)	$C_2$ $E_F$ (MPa)	$C_3$ $E_F$ (MPa)
Valor Médio (MPa)	1080 ± 50	1890 ± 74	1981 ± 52	2055 ± 55

Tabela 7 - Resultados do Módulo de Elasticidade à Flexão CORRIGIDO

A partir da Tabela 7 elaborou-se o Gráfico da Figura 12 dos valores obtidos nos ensaios do Módulo de Elasticidade à Flexão (MPa) entre o PP puro e as formulações citadas.

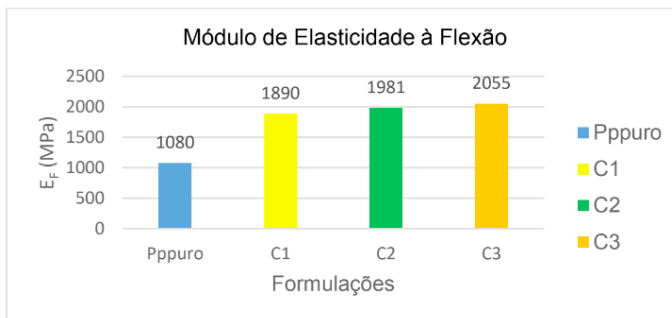


Figura 12 – Ensaios Módulo de Elasticidade à Flexão

Pela Tabela 7 e a Figura 12 observou-se um acréscimo aproximado de 75% nos valores do Módulo de Flexão da formulação  $C_1$  em relação ao PP<sub>puro</sub>; um acréscimo aproximado de 83% nos valores de  $C_2$  em relação ao PP<sub>puro</sub>; e um acréscimo aproximado de 91% nos valores de  $C_3$  em relação ao PP<sub>puro</sub>.

#### 4.2.3 Ensaios de Impacto

Os ensaios de impacto foram realizados segundo a norma ASTM D 256-94, com 10 ensaios para cada composição. Para cada corpo-de-prova com entalhe determinou-se a energia necessária para ruptura do material por impacto, sendo que a unidade utilizada nas determinações foi em Joule por metro (J/m).

A Tabela 8 e o Gráfico da Figura 13 apresentam os valores dos ensaios da resistência ao Impacto Izod com entalhe obtidos para o PP puro e para os compósitos  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ .

Formulações	PP <sub>puro</sub> J/m	$C_1$ - PP/10%F <sub>B</sub> /5%PSB J/m	$C_2$ - PP/15%F <sub>B</sub> /5%PSB J/m	$C_3$ - PP/20%F <sub>B</sub> /5%PSB J/m
Valor Médio	23,3 ± 0,6	17,36 ± 2,21	20,06 ± 1,64	17,38 ± 2,55

Tabela 8 - Valores Médios dos Valores dos Ensaios de Impacto

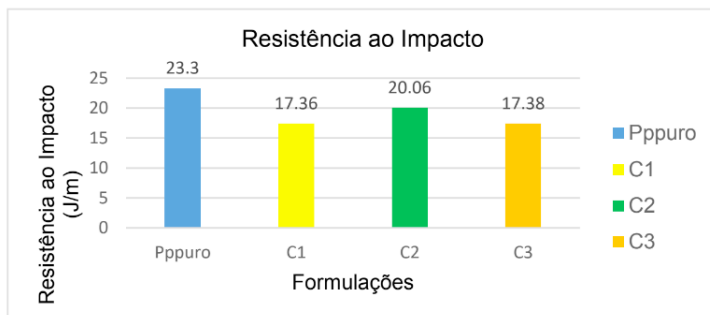


Figura 13 – Resultados de Resistência ao Impacto Impacto Izod

A partir da Tabela 8 e da Figura 13 observou-se que o valor da resistência ao impacto do PP<sub>puro</sub> é aproximadamente 25% superior aos valores de C<sub>2</sub>; 24% superior aos valores de C<sub>2</sub> e 25% superior aos valores de C<sub>3</sub>. O valor médio do compósito C<sub>2</sub> é aproximadamente 16% superior ao valor de C<sub>1</sub> e os valores de C<sub>1</sub> e C<sub>3</sub> praticamente se equivalem. O valor médio de C<sub>3</sub> é aproximadamente 15% inferior ao valor de C<sub>2</sub>.

### 4.3 Ensaios térmicos

#### 4.3.1 Temperatura de Distorção ao Calor, sob Carga (HDT)

Foi utilizado o equipamento Medidor de Temperatura de Distorção Térmica (HDT) e Temperatura Vicat, marca Ceast, modelo HDT 6 Vicat P/N 6921. Os ensaios foram realizados segundo a norma ASTM D 648-94, com 05 ensaios para cada composição.

A Tabela 9 apresenta os valores dos ensaios de temperatura de distorção ao calor sob carga, a uma tensão de 455 kPa, obtidos para o polipropileno puro (PP) e para os compósitos C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub>, bem como o valor médio devidamente acompanhado pelo seu desvio padrão.

Formulações	PP HDT (°C)	C <sub>1</sub> - PP/10%F <sub>B</sub> /5%PSB HDT (°C)	C <sub>2</sub> - PP/15%F <sub>B</sub> /5%PSB HDT (°C)	C <sub>3</sub> - PP/20%F <sub>B</sub> /5%PSB HDT (°C)
Valor Médio	140,7 ± 2,4	129,0 ± 8,7	136,5 ± 2,9	141,1 ± 2,9

Tabela 9 - Valores Médios dos Ensaios de Temperatura de Distorção ao Calor Sob Carga Tensão de 455 kPa

A partir da Tabela 9, foi elaborado um diagrama de barra da comparação entre os valores de HDT do PP<sub>puro</sub>, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub>, conforme o Gráfico da Figura 14.

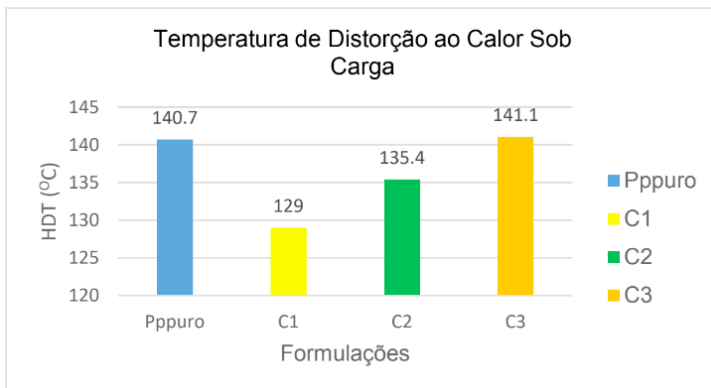


Figura 14 – dos Ensaios de Temperatura de Distorção ao Calor Sob Carga

Observou-se uma redução de aproximadamente 8% nos valores de HDT de  $C_2$  em relação aos valores do Pppuro; 3% de  $C_2$  em relação ao PP puro e um acréscimo aproximado de 0,03% em relação do PP puro. O valor médio de  $C_2$  é aproximadamente 6% superior ao valor de  $C_1$ , e o valor de  $C_3$  é aproximadamente 9,4% superior ao valor de  $C_1$ .

#### 4.3.2 Temperatura da Temperatura de Amolecimento Vicat - PAV (°C)

Os ensaios foram realizados segundo a norma ASTM D-1525, com 05 ensaios para cada composição. A Tabela 10, apresenta os valores dos ensaios do ponto de amolecimento Vicat obtidos para o polipropileno puro (PP) e para os compósitos  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ .

Formulações	PP Puro	$C_1$ - PP/T PP + Talco	$C_2$ - PP/T* PP + Talco* (1:0,1)	$C_3$ - PP/T* PP + Talco* (1:0,5))
Ensaio	PAV (°C)	PAV (°C)	PAV (°C)	PAV (°C)
Valor Médio	161,4 ± 0,1	160,0 ± 0,1	161,1 ± 0,4	161,3 ± 0,2

Tabela 10 - Resultados do Ensaio do Ponto de Amolecimento Vicat

De acordo com os valores obtidos nos ensaios de Temperatura de Amolecimento Vicat, não se observou variações significativas. Os resultados praticamente se equivalem.

## 5 I CONCLUSÕES

De acordo com os valores obtidos nos ensaios realizados observou-se que:

- Os resultados do índice de fluidez, aumentaram com o número de ciclos, sugerindo que ao longo do reprocessamento o material sofre uma degradação que leva à quebra de cadeias, o que reduz a massa molar do polímero e consequen-

temente, a sua viscosidade, aumentando o índice de fluidez.

- Nos ensaios de tração, houve um aumento de aproximadamente 50% em média nos valores da resistência à tração, e um aumento no alongamento sob tração, em relação aos valores do PP<sub>puro</sub>;
- Nos ensaios de flexão, houve um acréscimo de aproximadamente de 240% em média, na resistência à flexão e um acréscimo de aproximadamente 80% em média nos valores dos módulos sob flexão dos compósitos obtidos, em relação ao PP<sub>puro</sub>;
- Quanto aos ensaios de impacto, houve uma redução de aproximadamente 20% em relação aos valores do PP<sub>puro</sub>;
- Nos ensaios térmicos, quanto ao HDT observou-se uma pequena redução nos valores dos compósitos C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub> e um pequeno aumento nos valores de C<sub>3</sub>, em relação ao PP<sub>puro</sub>; nos valores de Temperatura de Amolecimento Vicat, não houve variações significativas. Os valores praticamente se equivalem;
- A utilização de materiais biodegradáveis de fonte renovável, como o pó de ostras são muito atrativas devido à economia, facilidade de fabricação e a sua facilidade de degradação sem emissão de poluentes, gerando impacto social positivo sobre a sustentabilidade ambiental.
- Assim, torna-se importante ao desenvolvimento e a análise de compósitos de polipropileno/pó de ostras para serem injetadas e utilizadas como objetos em geral, que não requeiram alta resistência. A quantificação desse efeito poderá ser feita usando indicadores globais, inclusive o balanço de carbono, que poderá ser alvo de estudos complementares.

## APOIO

PIBIC CNPq

## REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS ANTUNES, M.C., Durabilidade mecânica de Compósitos de Polipropileno com Reforço Híbrido de Fibra de Coco e Talco, Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2012.

BEATRICE, C. A. G., BRANCIFORTI, M. C., ALVES, R. M. V., BRETAS, R. E. S. - J. Appl. Polym. Sci., 116, p.3581, 2010.

CALLISTER, W.D.; Fundamentos da ciência e engenharia dos materiais: Uma abordagem integrada. Rio de Janeiro: LTC, 2012

CORRÊA, M.E.R.M., HEEMANN, A., Proposta de substituição de copos plásticos descartáveis em fábrica de grande porte. Artigo. Universidade Federal do Paraná, Curitiba-Paraná, 2016.

COSTA, A. R. S.; OLIVEIRA, B.M.C.; ARAUJO, G.V.R., SILVA, T.E.P., EL-DEIR, S.G. Viabilidade do uso de conchas de mariscos como corretivo de solos. In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Goiânia/GO – 19 a 22/11/2012

GIANELLI, I. A., FERNANDES, N.L., Polipropileno Reciclado Reforçado com Fibra de Buriti. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia de Materiais da UPM, São Paulo-SP, 2016.

HOLGUIN, I.C.C., Estudo do Comportamento do PP e PET Reciclados Submetidos a Intempéries e suas Possíveis Aplicações. Dissertação de Mestrado. Materiais da Engenharia. Universidade DE Brasília. Faculdade UnB Gama, Brasília, 2015

MASSON, T.J., Desenvolvimento e Reciclagem do Termoplástico Polipropileno Modificado pela Presença de Cargas Híbridas. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 1998.

MIRANDA, L. F., SILVEIRA, L. H., ANDRADE E SILVA, L. G., A. H. MUNHOZ JR, A. H. Irradiation of a Polypropilene-glass Fiber Composite. *Advances in Science and Technology Online: 2010-10-27, ISSN: 1662-0356, Vol. 71, pp 138-144© 2010 Trans Tech Publications, Switzerland. doi:10.4028/www.scientific.net/AST.71.138*

MENDONÇA, C.J.S.; DA COSTA, F.R.T.; MACIEL, A.P.; MINEIRO, T.Y.; BAUER, J.R.O.; CARVALHO, E.M.; SILVA, F.C. Transesterificação do óleo de babaçu utilizando pó de conchas de ostra de mangue (*crassostrea sp*) como catalisador. IN: 57º Congresso Brasileiro de Química. Gramado, R.S, 2017

PIVA, A; Wiebeck, H. Reciclagem de Polímeros – 2. Ed. – São Paulo – Artliber Editora Ltda, 2004

REGIS, T.M. Desenvolvimento e caracterização de compósitos híbridos a partir de polipropileno reciclado, resíduos de borracha de pneu e carbonato de cálcio. 2011 p. 22-23 Dissertação (Mestrado) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo 2011. Disponível em: [http://tede.mackenzie.com.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=2256](http://tede.mackenzie.com.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2256)  
acesso em: 28/março/2019

SANT'ANNA, F.S. Valorização dos resíduos da maricultura, Florianópolis, Santa Catarina. Projeto de Pesquisa – Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

SILVA, A. F. A.T., Efeito do compatibilizante em polipropileno reciclado reforçado por pó de coco não-tratado. Trabalho de Final de Curso. Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

*Data de aceite: 01/03/2021*

*Data de submissão: 07/01/2021*

### **Leandro Soares da Silva**

Escola de Referência em Ensino Médio Manoel  
Guilherme da Silva  
Passira - Pernambuco  
<http://lattes.cnpq.br/1509041646591166>

### **Déborah Vitória de Souza Silva**

Universidade Federal de Pernambuco  
Passira - Pernambuco  
<http://lattes.cnpq.br/1755401559918875>

### **Eduardo Mendonça Pereira Cavalcanti**

Escola de Referência em Ensino Médio Manoel  
Guilherme da Silva  
Passira - Pernambuco

### **Kauã Felipe Santiago**

Escola de Referência em Ensino Médio Manoel  
Guilherme da Silva  
Passira - Pernambuco

### **José Allan da Silva**

Escola de Referência em Ensino Médio Manoel  
Guilherme da Silva  
Passira - Pernambuco

**RESUMO:** O aumento na distribuição das notícias falsas prejudica vários âmbitos, inclusive a ciência. Recentemente, informações inverídicas sobre o termômetro infravermelho circularam e acabaram causando transtornos entre as pessoas. Baseado nisso, e na crença de que a educação fica melhor quando ela é

trabalhada não só no modelo tradicional, mas também no modelo lúdico e dinâmico, decidimos elaborar uma peça de teatro que envolvesse a desmitificação da radioatividade, e mostrasse como o diálogo entre a ciência e a educação são importantes. Acrescentamos também outros mitos e informações que envolvem a radiação, buscando sempre ser os mais claros possíveis, para que pudesse gerar um alcance maior. Além do mais, fizemos nossas buscas apenas em sites e materiais confiáveis, visando a veracidade dos fatos. Pelo trabalho realizado, acreditamos que é possível trazer formas diferentes e dinâmicas para a sala de aula, e de maneira simples, estabelecer uma melhor comunicação entre a ciência e a educação, objetivando maior veracidade nas discussões do nosso dia a dia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia nuclear, popularização da ciência, teatro científico.

### DESMYTFYING RADIOACTIVITY

**ABSTRACT:** The increase in the distribution of fake news harms several areas, including science. Recently, untrue information about the infrared thermometer circulated and ended up causing disturbances among people. Based on this, and on the need for education to be better when it is worked not only in the traditional model, but also in the playful and dynamic model, we decided to develop a play that involved the demystification of radioactivity, and show how the dialogue between science and education are important. We also added other myths and information that involve radiation, always trying to be as clear as possible, so that it can generate a greater reach.

Furthermore, disclosures of our searches only on websites and referenced materials, specify the veracity of the facts. For the work done, we believe that it is possible, bringing different and dynamic forms to the classroom, and in a simple way, to establish a better communication between science and education, aiming at greater veracity in the conditions of our daily lives.

**KEYWORDS:** Nuclear energy, popularization of science, scientific theater.

## 1 | INTRODUÇÃO

Com a rápida distribuição de informações, o acesso às notícias e informações do meio científico se tornou mais fácil e rápida. Infelizmente, isso também se tornou sinônimo de aumento na propagação de notícias falsas, pois qualquer pessoa pode utilizar de uma informação descontextualizada, formar sua opinião e trata-la como verdade absoluta. Por causa disso, a ciência vem sendo atacada diariamente pela população, pois além de todos os dados falsos que são espalhados, existe ainda uma carência de diálogo entre a comunidade científica e a população no geral.

Um tema recorrente e bastante polêmico no mundo científico é a radioatividade, que desde seu surgimento, principalmente com as bombas nucleares da segunda guerra, até os dias atuais, ainda é associada a acontecimentos negativos e vista como algo maligno para as pessoas. Sabe-se que existem diversos riscos ao manusear substancias radioativos, e que para evitar acidentes e contaminações, é necessário que haja muita cautela e conhecimento científico sobre o assunto. Todavia, a radioatividade se faz cada vez mais presente e útil na vida das pessoas, estando presente na alimentação, na saúde e na geração de energia, por exemplo.

Diante disso, nosso projeto pretende dialogar com a sociedade, de uma maneira criativa e dinâmica, sobre os benefícios, malefícios e riscos da utilização da radiação e sua energia, utilizando como metodologia o teatro científico.

## 2 | REVISÃO DA LITERATURA

Sendo certo que a educação não deve prender-se apenas a um único modelo escolar, pois ele seria “desrespeitador da complexidade humana” (Ribeiro, 2011), é indispensável que novas formas de aprendizado sejam inseridos nas salas de aula. De acordo com Ribeiro, temos que:

“(...) a metodologia de ensino com recurso aos múltiplos canais que envolvem o teatro enquanto fenómeno artístico pedagógico, fomenta o surgimento de novas zonas de proximidade entre alunos, professores e toda a comunidade.” (Ribeiro, 2011, p. 129).

É válido assumir que o teatro “desperta a emoção, deixando fluir o que de mais íntimo o ser humano” (Ribeiro, 2011). Dessa maneira, é cabível atrelar os benefícios lúdicos do teatro ao seu caráter pedagógico, como vemos a seguir:

“(...) o teatro-educação favorece também a iniciativa do professor na ampliação do repertório de opções metodológicas nos processos pedagógicos e didáticos no ensino como estimular a inovação de dinâmicas em sala de aula, situações de treinamento, implicações pessoais e institucionais diante de propostas de mudança.” (Marko, 2011).

### 3 | METODOLOGIA

Para a concretização do nosso objetivo principal, fizemos buscas em sites e artigos, fazendo uma revisão bibliográfica do assunto por meio da plataforma “Google acadêmico”. Além disso, realizamos uma visita ao museu de ciências nucleares, na Universidade Federal de Pernambuco, em Recife. Em seguida, nós discutimos e analisamos como poderíamos construir uma forma de repassar esse conhecimento, de uma forma que ficasse clara e descontraída, para melhor compreensão das pessoas.

A partir daí, chegamos ao consenso de que iríamos realizar um teatro, pois seria uma estratégia lúdica para a atividade educativa que queríamos proporcionar. De um lado, temos como personagem o renomado cientista Carl Sagan, que foi, de certa forma, uma ponte entre a ciência e a população, graças à publicação de livros sobre astronomia e pela série de TV “Cosmo: Uma viagem pessoal”, de 1980. Do outro lado, optamos por representar um político, pois como afirmou Obama (2017) no evento Cidadão Global, a política é reflexo da sociedade, e apesar de sua formação e cargo, a maioria dos representantes é ignorante quando o assunto é discussão científica, tal qual é a população. Assim que esses pontos da nossa apresentação foram decididos, começamos a trabalhar no roteiro, visando que ficasse objetivo, e conseguisse desmentir algumas afirmações e crenças falsas acerca da radioatividade. Por fim, realizamos os ensaios e gravamos a apresentação.

### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos estudos e discussões sobre o roteiro, pudemos construir uma peça teatral focada na desmitificação de algumas questões sobre a radioatividade, envolvendo algumas indagações comuns.

Entre essas questões, pudemos desmentir afirmações como doenças causadas pelo uso do termômetro infravermelho, a contaminação por meio de alimentos e aparelhos eletrônicos, além de destacar os cuidados que se deve ter ao manusear elementos radioativos. Infelizmente, por causa da pandemia, não conseguimos maiores resultados sobre como nosso projeto impactaria o público.

Diante disso, estamos planejando novos meios de divulgação da peça, como, curta metragem ou transmissões on-line para apresentação na feira e para o público em geral, visando a difusão para a comunidade local.



## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização desse projeto, esperamos contribuir principalmente em dois vieses: na vinculação da informação científica na sociedade e na abordagem dinâmica do conteúdo radioatividade em sala de aula. No primeiro tópico, esperamos despertar o interesse no público para poder aprender de forma dinâmica e interativa sobre a radiação, e assim distinguir o que é mito e o que é verdade sobre esse assunto.

Além disso, esperamos mostrar para nossa sociedade como a ciência está sendo colocada em xeque, com movimentos como os “terraplanistas” e os “anti-vacinas”, que podem prejudicar na evolução da ciência e colocar vidas de pessoas em risco. Já no segundo, esperamos despertar o interesse dos educadores sobre a forma de passar seus conhecimentos para os alunos, orientando que, além da forma tradicional, há outros métodos mais didáticos para repassar conhecimento ao seu aluno, sem perder a qualidade no seu ensino.

## REFERÊNCIAS

CARDOSO, Eliezer de Moura. **A energia nuclear**. 3. ed. Rio de Janeiro: CNEN, 2012 (Apostila educativa). Disponível em: <http://www.cnem.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/apostila-educativa-aplicacoes.pdf>. Acesso em: 05 out 2020.

MARKO, Leslie. **Teatro em sala de aula: um novo olhar que toca e transforma**. PORTAL - ABRACE 2011 – UFRN

RIBEIRO, C. M. G. **Um ensaio sobre a importância do teatro na contemporaneidade educativa**. Revista de Investigación en Educación, v. 9, n. 1, p. 122-131, abr. 2011. Disponível em: <http://reined.webs.uvigo.es/index.php/reined/article/view/96>. Acesso em: 07 out 2020.

## ANEXO 1 – ESBOÇO DO ROTEIRO PARA A PEÇA DESMISTIFICANDO A RADIOATIVIDADE

“Desmitificando a radioatividade”

Leandro Soares da Silva

Déborah Vitória de Souza Silva

Eduardo Mendonça Pereira Cavalcanti

Kauã Felipe Santiago

José Allan da Silva

Copyright Déborah Souza

deborahdsouzas@gmail.com (81)998773655

FADE IN:

Câmara Municipal – DIA

Reunião com os líderes políticos de uma cidade sobre a implantação de uma usina nuclear. O Prefeito chega e tenta entrar, mas é impedido pelo guarda.

Guarda Municipal

Desculpe, excelência, mas preciso medir sua temperatura.

Político

O quê?? Vai colocar isso em mim?! Não já usamos essas malditas máscaras, por que isso agora? Ontem mesmo fiquei sabendo que a jumenta do meu avô morreu por causa desse treco. Morreu de câncer, sabia? Vi no “grupo do zap” que isso causa um câncer maligno que até cega as pessoas, pois mexe com radiação.

Guarda Municipal

Senhor, perdoe-me, mas é impossível essa tal jumenta ter morrido por causa disso, pois esse instrumento só pode ser usado em pessoas.

Político

E como vou saber que isso não vai me fazer mal? E se eu ficar doente por causa dessa tal radiação que vocês colocam aí? Ainda mais, e como vou saber se isso não vai roubar meus dados? Afinal, pra que medir temperatura na testa?

O político insiste que não vai deixar que o guarda meça sua temperatura. O guarda continua impedindo a entrada. O político começa um escândalo. De dentro da câmara, o cientista escuta o escândalo e percebe do que se trata, ficando irritado com a situação.

Cientista

É sério que eu discutir a implantação desse projeto de lei com um cara desses?

O cientista vai ao encontro do político.

Cientista

Com licença, senhor. Qual o problema em medir a temperatura?

Político

Eu não permitirei que coloquem essa coisa perto de mim, já vi várias notícias sobre esse negócio e tenho certeza que ele é perigoso.

Cientista

Meu senhor, eu também ouvi sobre o termômetro digital infravermelho causar danos aos olhos e à glândula pineal, mas isso não passa de uma notícia falsa, o senhor não pode sair confiando em tudo que lê e ouve por aí. Aliás, não entendo essa sua preocupação toda com a radioatividade se vamos construir uma usina nuclear nessa cidade.

Político

Não é a mesma coisa... tá ok?

Cientista

O senhor não iria implantar uma usina nuclear se não confiasse no trabalho dos cientistas, não é mesmo? Agora, por favor, deixe que o segurança meça sua temperatura. Pode medir no pulso se preferir.

O político olha para o cientista e para o guarda desconfiado, mas cede e tem sua temperatura verificada. O cientista e o político entram para a sala de reunião. O cientista se aproxima da mesa e mostra o modelo da usina e os gastos estimados. O político arregala os olhos.

Político

Tudo isso?! Eu não imaginava que seria tão caro. Mas por que tanto dinheiro nessas paredes?

Cientista

Essas paredes precisam ser de chumbo, por isso são tão caras.

Político

Mas pra quê? Tenho certeza que paredes normais de tijolo e cimento fariam o mesmo efeito.

Cientista

Senhor, é claro que não fazem. Se não usarmos paredes de chumbo, estaremos colocando muitas vidas em risco. Não se recorda do que aconteceu em com Chernobyl?

Político

Chernobyl? Ah, já me chamaram assim no twitter. O que é?

Cientista

Furem meus ouvidos, furem meus ouvidos. O acidente de Chernobyl foi o maior desastre envolvendo uma usina nuclear que já aconteceu, as paredes de chumbo são para evitar que outro desastre como esse aconteça.

Político

Ah, entendi. (Desconfiado) E pra que esse tamanho todo? Digo, essa parte ao redor.

Cientista

Não podemos construir muito perto da cidade, precisamos de um espaço para evitar que alguém se contamine.

Político

Se contaminar? E existe esse risco? Pensei que as paredes de chumbo fossem justamente para evitar que essas coisas saíssem da usina.

Cientista

Senhor, não se preocupe. A radiação dos celulares e frutas vai chegar em vocês com mais intensidade do que as da usina. (Ri)

Político

Como assim? Radiação no meu celular? Nas minhas frutas? Sempre soube que estavam tentando nos matar! Essas frutas radioativas vêm da China, não é? Malditos chineses!

Cientista

Meu senhor (Respira fundo), não se preocupe. A radiação não é esse monstro todo, pelo contrário, ela é essencial nas nossas vidas. O que nos prejudica é o excesso, mas a radiação emitida pelos aparelhos, pelos objetos, e até pelo sol são aceitáveis, claro, com moderação.

Político

Bom, já que você diz. (Olha novamente para o modelo) Espera, e esse dinheiro? Equipamentos de proteção? Tudo isso em roupas? Parece demais.

Cientista

Com todo respeito, juro que não o entendo. Agora mesmo estava com medo da radiação emitida pelo seu celular, e agora acha caro investir na proteção dos seus funcionários. (Fala em tom mais baixo) Parece até não se importa com eles...

Político

Enfim, o que realmente importa é essa usina ser construída e render dinheiro.

Cientista

Claro, (Abaixa o tom de voz) geralmente seus funcionários são fantasmas mesmo...

Político

O que você disse? (Partindo para cima do cientista)

**O político parte para cima do cientista tentando agredi-lo.**

**CRÉDITOS FINAIS**

**FADE OUT / FIM.**

## PROPOSTA DE SILO GRANELEIRO TEMPORÁRIO PARA FAZENDAS DA FRONTEIRA AGRÍCOLA DO BRASIL

*Data de aceite: 01/03/2021*

### **José Roberto Rasi**

Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR  
<http://lattes.cnpq.br/4500057408944101>  
<https://orcid.org/0000-0002-0295-599X>

### **Jorge Augusto Serafim**

Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR  
<http://lattes.cnpq.br/8021302922802083>

### **Jonathan Figueiredo Broetto**

Universidade de Marília  
<http://lattes.cnpq.br/4192190398746463>

**RESUMO:** O Brasil é um dos maiores produtores mundiais dos agronegócios, sendo o segundo na produção de soja, batendo recordes consecutivos de produção safra a safra. Porém a competitividade brasileira é prejudicada no momento em que o produto agrícola, com custos mais baixos, chega ao seu destino com custos mais elevados que os concorrentes mundiais. Os principais gargalos logísticos encontrados no Brasil hoje, são a infraestrutura precária, com atrasos e filas quilométricas nos portos, sistema ferroviário e hidroviário praticamente inexistentes, estradas de má qualidade e sistema defasado de armazenagem de grãos. O acesso as instalações de armazenamento tornaram-se cada vez mais necessário devido ao aumento das distâncias e à confiabilidade variável dos sistemas de transporte existentes. Uma alternativa viável é a construção de silo de armazenagem na propriedade rural, com peças

pré-moldadas de baixo custo e que poderá ser transferido para outras localidades, com fácil desmobilização e montagem, se necessário. Este trabalho tem como objetivo principal, a realização de um estudo de armazém horizontal em concreto pré fabricado, com baixo peso próprio, podendo ser instalado em propriedades agrícolas, para armazenar grãos, em um período de tempo suficiente para aguardar a mitigação dos gargalos logísticos e o aumento da cotação do produto no mercado.

**PALAVRAS - CHAVE:** Silo horizontal, Armazenagem de grãos, Paineis pré moldado.

**ABSTRACT:** Brazil is one of the largest agribusiness producers in the world, being the second in soybean production, breaking consecutive records of crop to crop production. However, Brazilian competitiveness is impaired when the agricultural product, with lower costs, reaches its destination at higher costs than global competitors. The main logistical narrow found in Brazil today are the precarious infrastructure, with delays and kilometer queues at the ports, practically nonexistent rail and waterway systems, poor quality roads and outdated grain storage systems. Access to storage facilities has become increasingly necessary due to increased distances and the variable reliability of existing transport systems. A viable alternative is the construction of a storage silo on the rural property, with low-cost pre-molded parts that can be transferred to other locations, with easy demobilization and assembly, if necessary. This work has as main objective, the accomplishment of a study of horizontal warehouse in prefabricated

concrete, with low own weight, being able to be installed in agricultural properties, to store grains, in a period of time sufficient to wait for the mitigation of logistical narrows and the increase in the price of the product on the market.

**KEYWORDS:** Horizontal bulk, Grain storage, Precast panel.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais dos agronegócios, sendo o segundo na produção de soja, batendo recordes consecutivos de produção safra a safra. Porém a competitividade brasileira é prejudicada no momento em que o produto agrícola, com custos mais baixos, chega ao seu destino com custos mais elevados que os concorrentes mundiais, devido à ineficiência dos fatores logísticos (Buss *et al* 2019).

De acordo com Rosalen (2019), os principais gargalos logísticos encontrados no Brasil hoje, são a infraestrutura precária, com atrasos e filas quilométricas nos portos, sistema ferroviário e hidroviário praticamente inexistentes, estradas de má qualidade e sistema defasado de armazenagem de grãos. A cada ano a produção cresce e os problemas enfrentados pelos produtores são os mesmos, de tudo que é produzido, mais de um quarto não tem onde ser armazenado.

A capacidade estática de armazenagem de grãos no Brasil, infraestrutura que exige elevadas somas de investimentos, não tem sido suficiente para armazenar o crescimento das safras ao longo dos anos, verificando-se déficit em determinadas regiões, principalmente naquelas de incorporação recente ao processo produtivo (Vieira e Dalchiavon 2018).

Com a expansão das fronteiras agrícolas no cerrado e norte (Figura 1), as distancias são cada vez maiores das áreas de centros industriais e portos de exportação, ampliou ainda mais os graves problemas relacionados ao transporte da produção. O acesso as instalações de armazenamento tornaram-se cada vez mais necessário devido ao aumento das distâncias e à confiabilidade variável dos sistemas de transporte existentes (Frederico 2011).





existe uma falta de conhecimento sobre as reais vantagens do sistema de armazenamento na fazenda, aliada às dificuldades acesso aos recursos financeiros necessários para tal investimento (CONAB, 2013).

Uma alternativa viável é a construção de silo de armazenagem na propriedade rural, com peças pré-moldadas de baixo custo e que poderá ser transferido para outras localidades, com fácil desmobilização e montagem, se necessário.

Para exemplificar a filosofia de um projeto de um silo de armazenagem de grãos de baixo custo, com fundo plano, modular, desmontável e temporário, este trabalho tem como objetivo principal, a realização de um estudo de armazém horizontal em concreto pré fabricado, com baixo peso próprio, podendo ser instalado em propriedades agrícolas, para armazenar grãos, em um período de tempo suficiente para aguardar a mitigação dos gargalos logísticos e o aumento da cotação do produto no mercado.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o decorrer do tempo, os sistemas de armazenagem evoluíram muito em tecnologia, capacidade e forma, desde os mais rudimentares e simples coletores de grãos até os sistemas mais evoluídos, de alta capacidade de armazenagem e velocidade de processamento e de movimentação (WEBER, 2005).

Segundo Silva (2008), uma unidade armazenadora projetada dentro dos parâmetros técnicos e convenientemente localizada constitui uma das melhores opções para tornar o sistema produtivo mais econômico.

Segundo Weber (2005), as unidades armazenadoras podem ser classificadas quanto a sua localização. A classificação é descrita abaixo e ilustrada na Figura 2, a seguir.

- Fazenda/Produtor: Localizadas dentro da propriedade rural, servem geralmente a um único proprietário, sendo em geral de pequeno ou médio porte.
- Coletoras: Unidades que se encontram a uma distância média das propriedades rurais e servem a vários produtores.
- Subterminais: Estas unidades localizam-se em pontos estratégicos do sistema logístico, normalmente nos pontos de transbordo, racionalizando os fluxos de mercadoria para minimizar os custos com movimentação.
- Terminais: Localizam-se em centros consumidores e portos, apresentando como principal característica a alta rotatividade de produto.

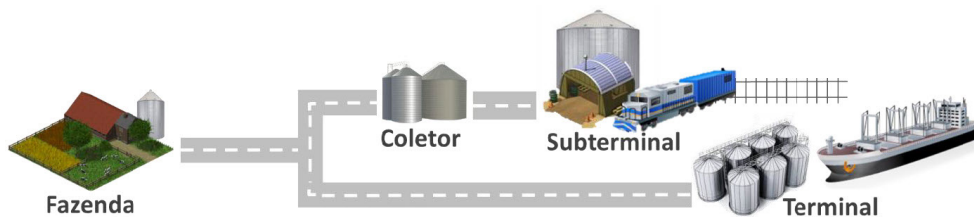


Figura 2 - Classificação das unidades armazenadoras quanto a sua localização.

Fonte: Souza (2019)

O fluxograma de uma unidade armazenadora completa é mostrada na Figura 3. A nível fazenda, a estrutura da unidade armazenadora resume-se, muitas vezes, apenas a recepção, armazenagem e expedição.

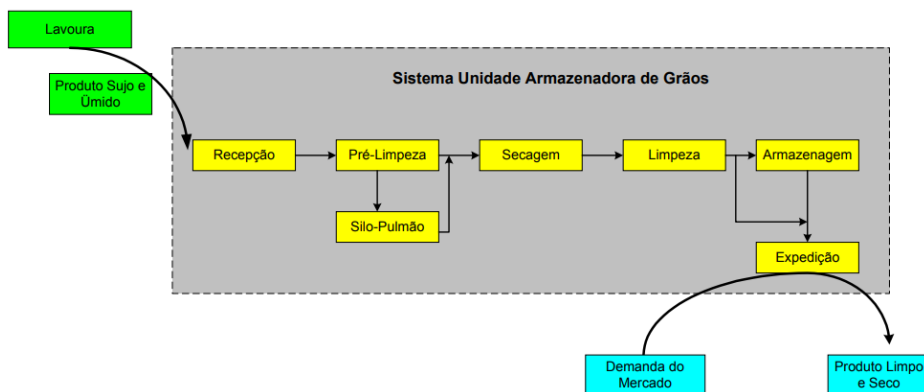


Figura 3 – Fluxograma de unidade armazenadora completa

Fonte: Silva 2006

As unidades armazenadoras nível fazenda estão localizadas dentro da propriedade agrícola e são de uso exclusivo do proprietário, devendo ser projetadas, prioritariamente, para receber grãos úmidos e sujos (Cogo 2014).

Para SILVA *et al* (1998), os armazéns graneleiros são edificações rurais ou industriais cuja finalidade básica é armazenar produto a granel, abrigando-o da influência ambiental externa com o ambiente interno do silo, com o objetivo de conservar as principais características do produto, durante o tempo de estocagem. No Brasil, os silos horizontais são conhecidos como armazéns graneleiros (Figura 4) é considerado como uma unidade armazenadora para grãos a granel, cuja base é maior que a altura (Rasi 2014).

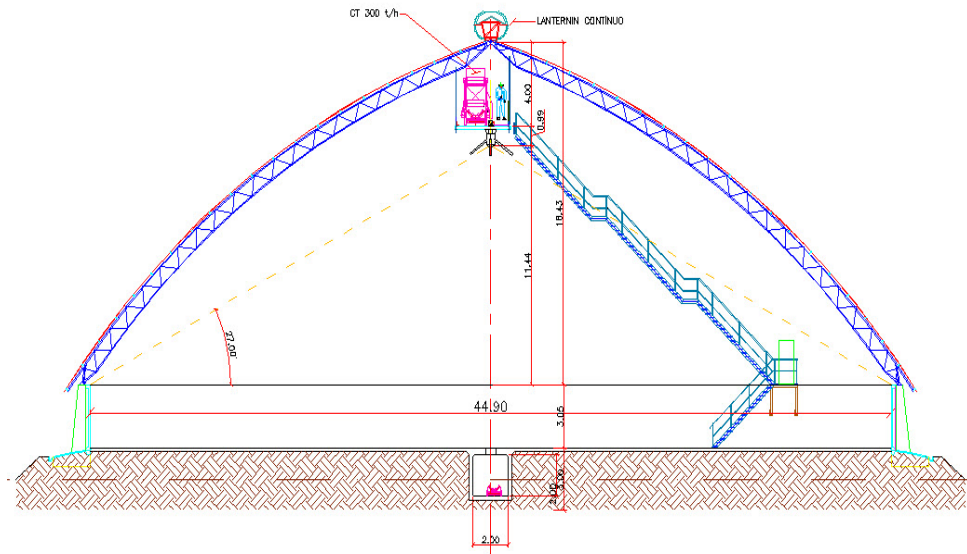


Figura 4 – Corte interno de silo horizontal fundo plano.

Fonte: Rasi 2014

Já Gomes (2000) afirma que os silos horizontais apresentam as seguintes vantagens, além do baixo custo:

- Sistema estrutural simples;
- A armazenagem dos grãos é feita em amontoado, sobre o piso de concreto executadas diretamente sobre o solo.

No Brasil, o pré moldado de concreto armado é o sistema construtivo mais utilizado na construção de silos horizontais (RASI 2009). Os painéis laterais e frontais são apoiadas e fixadas nos pilares, que também são pré-moldadas, constituindo uma estrutura articulada (Figura 5) e de fácil montagem.



Figura 5 – Montagem de painéis pré moldados de silo horizontal.

Fonte: Rasi 2009

Este processo construtivo permite que diversas frentes de montagem sejam operadas ao mesmo tempo, reduzindo o tempo e os custos das construções. A pré moldagem é um processo construtivo do qual se pode tirar proveito das seguintes características:

- Em produção em série possibilita a reutilização das formas; emprego da protensão com armadura pré-tracionada; emprego de seções com maiores rendimento mecânicos; maior produtividade de mão de obra e melhor controle de qualidade;
- Desmontabilidade da construção;
- Aumento da qualidade dos elementos através do controle constante da fabricação;
- Redução de materiais empregados;
- A construção do pré-moldado independe das condições climáticas.

Para Rasi et al (2016), os produtos armazenados em repouso exercem pressões que atuam sobre os painéis verticais e o piso do silo. As pressões perpendiculares às paredes são chamadas de pressões horizontais e as pressões paralelas às paredes, que atuam no piso, são chamadas de pressões verticais.

Gomes (2000) recomenda a utilização da expressão matemática (Equação 1) para determinar as pressões horizontais ( $P_h$ ) nas paredes dos silos horizontais.

$$Ph = \gamma \cdot h \cdot k \quad (1)$$

Onde:  $\gamma$ : Peso específico do grão

$h$ : Altura efetiva do produto

$K$ : parâmetro – Relação entre  $P_h / P_v$

De acordo com Calil (1997), definiu-se o parâmetro  $K$  como a relação entre as

pressões horizontal e vertical em qualquer ponto de uma massa granular. É um dos parâmetros necessários para a determinação das pressões exercidas pelo produto sobre as paredes e fundo de um silo. Os limites de K, determinados indiretamente por Gomes (2000), são apresentados na tabela 1.

Coeficiente K - milho		
$\Phi_i$ (graus)	Limite Inferior (LI)	Limite Superior (LS)
32	0,307	0,560
35	0,271	0,505

Tabela 1 – Limites de K em função do ângulo de atrito interno

Fonte: Gomes (2000), adaptado pelos próprios autores.

O peso específico dos produtos mais comum a serem armazenados, de acordo com as principais normas de armazenamento mundial, pode ser encontrada na Tabela 2.

PRODUTO	ENV		ISO		AS		BMHM		DIN		NBR	
	$\gamma_m$	$\gamma_u$	$\gamma_m$	$\gamma_u$	$\gamma_m$	$\gamma_u$	$\gamma_m$	$\gamma_u$	$\gamma_m$	$\gamma_u$	$\gamma_m$	$\gamma_u$
	KN/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>
Cevada	7,5	8,5	7,5	8,5	7,0	8,5	7,5	8,5	8,0	-	7,0	-
Cimento	14,0	16,0	14,0	16,0	13,0	16,0	13,0	16,0	16,0	-	14,0	-
Clinker	16,0	18,0	14,0	16,0	15,0	18,0	-	-	18,0	-	15,0	-
Areia seca	14,0	16,0	14,0	16,0	14,0	17,0	15,0	17,0	16,0	-	-	-
Farinha	6,0	7,0	6,5	7,5	6,5	7,5	7,0	7,5	7,0	-	5,0	-
Cinzas	12,0	14,0	11,0	13,0	8,0	11,5	8,0	10,0	12,0	-	-	-
Milho	7,5	8,5	7,5	8,5	7,0	8,5	7,5	8,5	8,0	-	7,5	-
Açúcar	8,0	9,5	9,0	10,0	8,0	10,0	9,0	10,0	9,5	-	7,5	-
Trigo	8,0	9,0	7,5	8,5	7,5	9,0	8,0	9,0	9,0	-	7,8	-
Carvão	9,0	10,0	9,0	10,0	8,5	11,0	-	-	10,0	-	8,5	-

Tabela 2 – Peso específico dos produtos comum das normas ENV, ISSO, AS, BMHM, DIN e NBR

Fonte: Freitas (2001) adaptada pelos próprios autores.

Para determinação das pressões mais desfavoráveis, Caill (1997) propõe, de acordo com a norma australiana AS 3774 (1996) - *Loads on bulks containers*, que os de carregamentos nos painéis verticais dos silos, sejam determinados utilizando os limites inferior e superior para cada parâmetro. Os limites apropriados das propriedades físicas estão apresentados na Tabela 3.

Aplicação da propriedade	Peso específico produto ( $\gamma$ )	Ângulo de atrito com parede ( $\Phi_w$ )	Ângulo de atrito Interno ( $\Phi_i$ )	Relação entre $p_h$ / $p_v$ Fator K
Tipo de fluxo massa funil	Inferior Inferior	Superior Inferior	Inferior Superior	- -
Cálculo da máxima pressão Horizontal na parede - $p_h$	Superior	Inferior	Inferior	Superior
Cálculo da máxima pressão Vertical - $p_v$	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Força máxima de atrito na parede do silo - $p_w$	Superior	Superior	Inferior	Superior
Força vertical máxima na tremonha	Superior	Inferior	Superior	Inferior

Tabela 3 - Limites apropriados para as propriedades físicas.

Fonte: Calil 1997.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, as ações devem ser majoradas pelo coeficiente de ponderações. Calil e Cheung (2017) apresentaram a na Tabela 4, sugestão de valores dos coeficientes de ponderação das ações, para dimensionamento de paredes de silos, que atendam os valores da NBR 6118:2014.

AÇÕES		Estado Limite Ultimo	Estado Limite Utilização
Permanentes		1,4	1,0
Pressões do produto	estática	1,4	1,0
	fluxo	1,4	1,0
	especiais	1,2	1,1
Térmicas		1,2	1,0
Vento		1,4	1,0

Tabela 4 – Coeficiente de ponderação de ações

Fonte: Calil e Cheung (2007).

Para determinação da reação vertical do solo, sob uma sapata isolada, Milani (2012) afirma que essa tensão poderá ser determinada através de relações com a tensão admissíveis do solo, havendo duas maneiras para conseguir o coeficiente de reação vertical do solo -  $K_s^v$ :

- Através da relação com SPT
- Através da relação tipo de solo – tensão admissível

Utilizando a relação com o SPT, a tensão admissível do solo, será obtida através da Equação 2 ( $\text{kgf/cm}^2$ ), onde o  $\text{SPT}_{\text{médio}}$  é a média dos SPT medidos dentro de um bulbo de pressões onde  $L = 1,5 B$ , sendo B a base da sapata isolada.

$$\sigma_{adm} = 0,20 \cdot SPT_{m\u00e9dio} \quad (2)$$

Com a tens\u00e3o admiss\u00edvel em kgf/cm<sup>2</sup>, poderemos obter o valor do coeficiente de rea\u00e7\u00e3o vertical do solo -  $K_s^v$  atrav\u00e9s da Tabela 5, mostrada a seguir, onde Morrison (1993) relaciona o valor de  $K_s^v$  com as tens\u00f5es admiss\u00edveis -  $\sigma_{adm}$  estimadas para o solo.

Tens\u00e3o admiss\u00edvel (kgf/cm <sup>2</sup> )	$K_s^v$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tens\u00e3o admiss\u00edvel (kgf/cm <sup>2</sup> )	$K_s^v$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tens\u00e3o admiss\u00edvel (kgf/cm <sup>2</sup> )	$K_s^v$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tens\u00e3o admiss\u00edvel (kgf/cm <sup>2</sup> )	$K_s^v$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tens\u00e3o admiss\u00edvel (kgf/cm <sup>2</sup> )	$K_s^v$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
0,25	0,65	0,90	2,02	1,55	3,19	2,20	4,40	2,85	5,70
0,30	0,78	0,95	2,11	1,60	3,28	2,25	4,50	2,90	5,80
0,35	0,91	1,00	2,20	1,65	3,37	2,30	4,60	2,95	5,90
0,40	1,04	1,05	2,29	1,70	3,48	2,35	4,70	3,00	6,00
0,45	1,17	1,10	2,38	1,75	3,55	2,40	4,80	3,05	6,10
0,50	1,30	1,15	2,47	1,80	3,64	2,45	4,90	3,10	6,20
0,55	1,39	1,20	2,56	1,85	3,93	2,50	5,00	3,15	6,30
0,60	1,48	1,25	2,65	1,90	3,82	2,55	5,10	3,20	6,40
0,65	1,57	1,30	2,74	1,95	3,91	2,60	5,20	3,25	6,65
0,70	1,66	1,35	2,83	2,00	4,00	2,65	5,30	3,30	6,60
0,75	1,75	1,40	2,92	2,05	4,10	2,70	5,40	3,35	6,70
0,80	1,84	1,45	3,01	2,10	4,20	2,75	5,50	3,40	6,80
0,85	1,93	1,50	3,10	2,15	4,30	2,80	5,60	3,45	6,90

Tabela 5 – Valores para coeficiente de rea\u00e7\u00f5es verticais do solo -  $K_s^v$

Fonte: Morrison (1993) adaptada pelos pr\u00f3prios autores.

### 3 I MATERIAIS E M\u00c9TODOS

Foi proposto um sistema pr\u00e1tico para instalar um silo horizontal, modular, totalmente desmont\u00e1vel, cujas paredes s\u00e3o compostas de pe\u00e7as pr\u00e9-moldadas em forma de “T” invertido, com altura bruta de 2.600 mm, comprimento de 1.500 mm e largura da base de 1500 mm (Figuras 6). O apoio na pe\u00e7a pr\u00e9-moldada seria feito pelo fundo (parte inferior do “T” invertido), diretamente no terreno, atuando como uma sapata isolada. Os materiais utilizados foram concreto Fck 30 MPa e a\u00e7o com resist\u00eancia a tra\u00e7\u00e3o de 500 Mpa (CA50A).

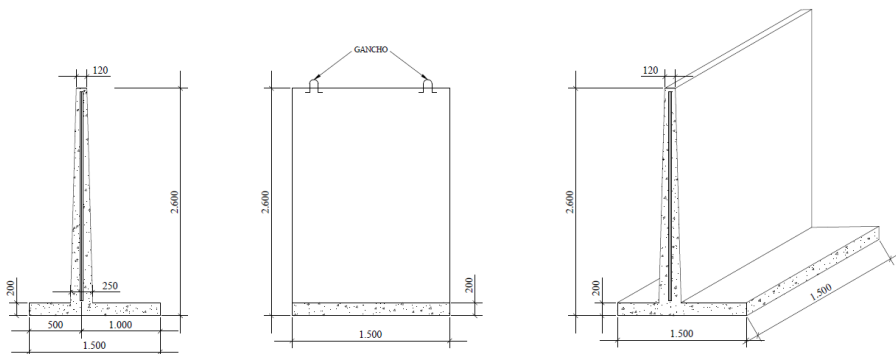


Figura 6 – Montagem de pain\u00e9is pr\u00e9 moldados da parede do silo horizontal.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o fechamento dos cantos do silo horizontal será utilizado uma peça pré moldada especial para fazer a concordância com as paredes em direções perpendiculares (Figura 7), com as mesmas características do painel pré moldada da parede do silo.

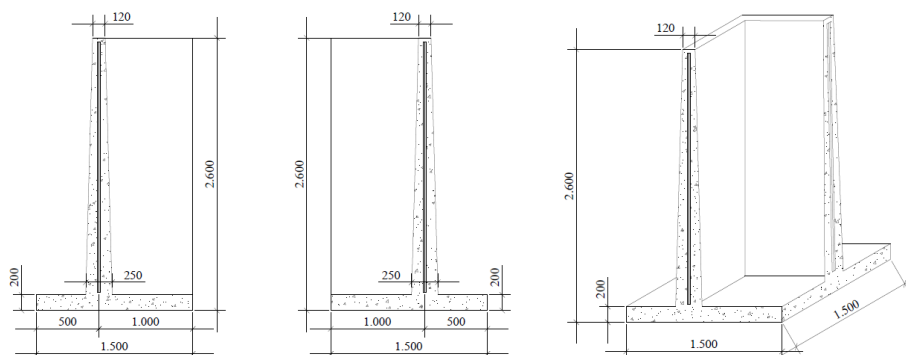


Figura 7 – Montagem de painéis pré moldados da canto do silo horizontal.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para vedação e intertravamento das peças pré-moldadas, foi projetada um tipo de entalhe idealizado por Ravent (1992) cujas peças apresentavam nas extremidades laterais, uma saliência na forma semicircular em toda extensão, no lado esquerdo (vista interna) e de maneira inversa, no lado direito (vista interna), um rebaixo na forma semicircular, funcionando como um encaixe tipo macho-fêmea, com raio de 15 mm.

As peças pré-moldados foram dimensionados de acordo com a norma ABNT NBR 6118:2014 - Estruturas de concreto armado – Procedimento, Ação de vento de acordo com a ABNT NBR 6123:1988 – Forças devido ao vento em edificações e os carregamentos do produto (ações devido aos grãos) foram consideradas de acordo com as recomendações de Gomes (2000) e Calil (1997), conforme mostra a Figura 8.



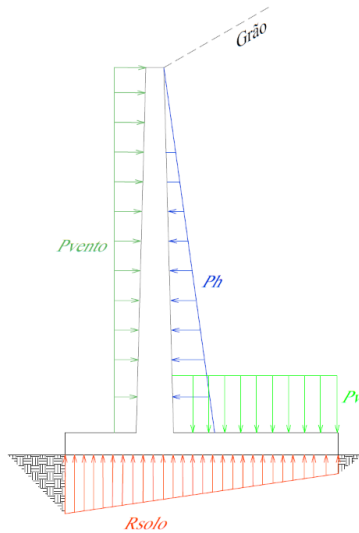


Figura 8 – Representação das forças externas atuantes nas peças pré-moldadas

Fonte: Elaborado pelos autores.

A determinação da pressão horizontal máxima, de acordo com a Equação 1, Tabela 1 - Limites de K em função do ângulo de atrito interno, Tabela 2 – Peso específico dos produtos, Tabela 3 - Limites apropriados para as propriedades físicas e Tabela 4 – Coeficiente de ponderação de ações, resulta nos valores:

$$\gamma = \gamma_u = 8,50 \text{ kN/m}^3 \text{ (Tabela 2 - milho)}$$

$$h = 2,40 \text{ m (Figura 6)}$$

$$K = 0,56 \text{ (Tabela 1)}$$

Da tabela 4, adotaremos para o estado limite de utilização, o coeficiente 1,00.

O valor da pressão horizontal máxima:

$$P_{h \max} = 11,42 \text{ kN/m}^2 \text{ (Carregamento na altura 0,00 m do pré moldado)}$$

Para a determinação da pressão vertical que incide sobre parte interna da base da peça pré moldada, de acordo com as mesmas considerações para o cálculo da pressão horizontal, temos o valor:

$$P_v = \gamma_u \cdot h = 8,50 \text{ kN/m}^3 \times 2,40 \text{ m}$$

$$P_v = 20,40 \text{ kN/m}^2$$

A pressão do vento não foi considerada, uma vez que é de sentido contrária à pressão horizontal.

Para determinação da reação vertical do solo, sob a sapata isolada da peça (“T” invertido), foi adotado tensão admissível do solo  $\sigma_{adm} = 1,00 \text{ Kg/cm}^2$  que corresponde ao valor do coeficiente de reação vertical do solo  $K_s^v = 2,20 \text{ Kg/cm}^2$  ou  $11.767,98 \text{ kN/m}^2$ , de acordo com a Tabela 5 de MORRISON (1993).

A verificação estrutural da peça que compõe as paredes laterais pré-moldada, foi feito através de análise estática linear processada no *software* SAP 2000 V20.

Na Figura 9 a seguir, é mostrado a modelação numérica tridimensional (3D) discretizado, executado com o programa SAP 2000 V20.

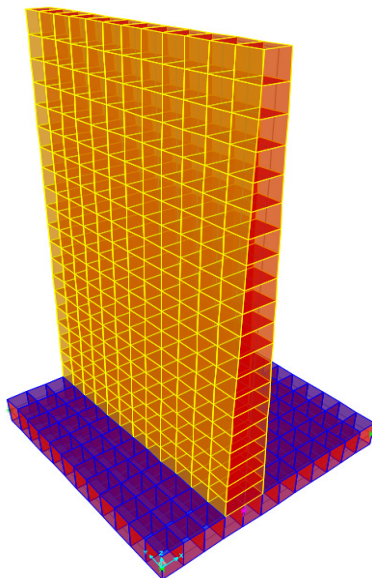


Figura 9 – Discretização da peça pré moldada da parede.

Fonte: Elaborado pelos autores

#### 4 | RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os carregamentos da pressão horizontal na parede interna ( $P_h$ ), da pressão vertical na parte horizontal da base ( $P_v$ ) e com o coeficiente de reação vertical do solo - ( $K_s^v$ ), a peça foi analisada pelo *software* SAP 2000 V20. Os valores dos maiores momentos fletores foram compatíveis com a resistência da peça (Figura 10). e o valor do deslocamento máximo horizontal foi de 5,2 mm (Figura 11).

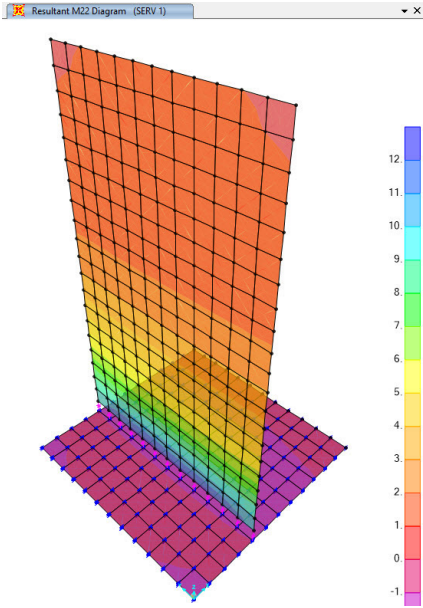


Figura 10 – Momento fletores M22 em kN.cm

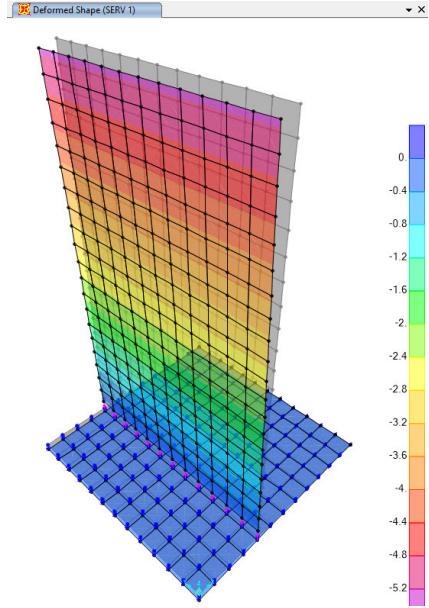


Figura 11 – Deslocamento horizontal no eixo X, em mm

A pressão máxima aplicada ao solo pela base da peça foi de 52 kN/m<sup>2</sup>, inferior à capacidade de suporte do solo (Figura 12).

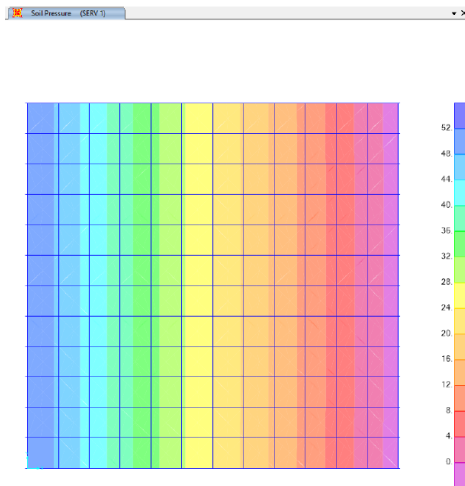


Figura 12 – Distribuição das pressões no solo pela base da peça

Fonte: Elaborado pelos autores

O peso próprio da peça pré moldada foi calculado em 2.800,00 kg, possuindo volume de concreto de 1,12 m<sup>3</sup>, para as peças lisas e peças de canto. O custo de produção de cada peça, de acordo com a planilha padrão de abril 2020, da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Obras Públicas – SEDOP – Governo do Estado do Pará (2020), para concreto Fck 30 Mpa, aço CA 50 e formas aparentes é de R\$ 2.434,53 / m<sup>3</sup>, perfazendo um custo por peça de R\$ 2.726,67. Foi utilizado o custo do Estado do Pará devido o motivo dessas peças pré moldadas serem destinadas à fronteira agrícola do Brasil.

Para uma produção de soja de 25.000,00 sacas (1.500 ton) ou 2.100,00 m<sup>3</sup> de uma propriedade de tamanho mediano, respeitando as proporções do retângulo áureo (1:1,618), teríamos um silo com as dimensões de 17,00 m de largura e 27,50 m de comprimento, sendo utilizado 54 peças pré moldadas do tipo parede e 04 peças pré moldadas do tipo canto (Figura 13), com o total de 58 peças pré moldadas.

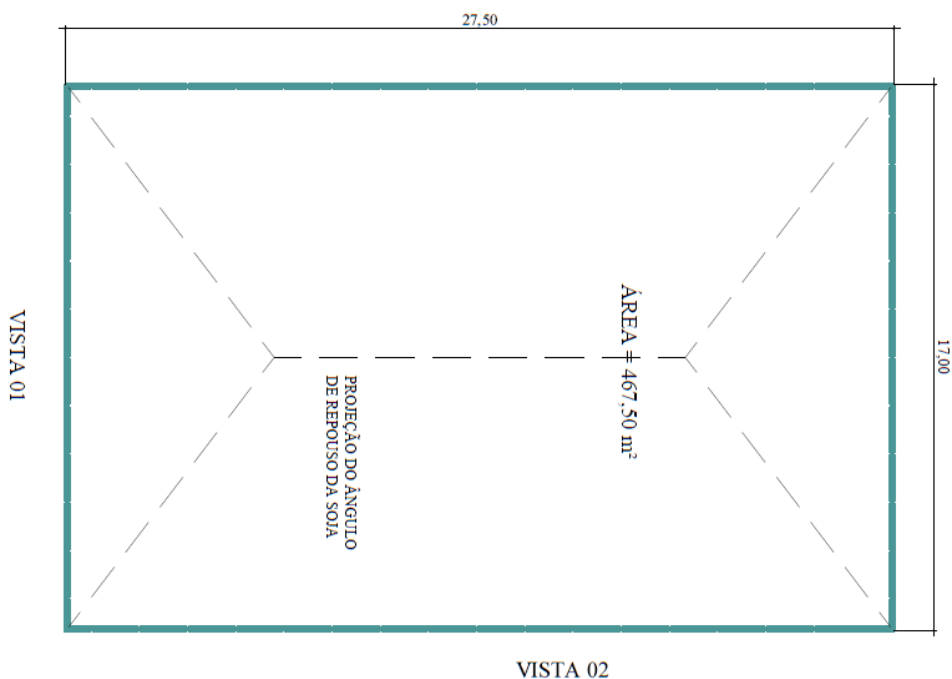


Figura 13 – Configuração de silo com capacidade de 25.000 sacas de soja

Fonte: Elaborado pelos autores

De acordo com Pelloso (2019), a avaliação de silos graneleiros horizontais, existem poucos parâmetros para a determinação dos custos, e o nível de rigor na apuração dos valores é expedido, ou seja, as avaliações são feitas de forma subjetiva.

O custo de construção orçado total dessa configuração seria de R\$ 158.146,86,

em torno de R\$ 6,33 / por saco. De acordo com Viera (2018), o custo de armazenagem convencional de soja ou milho em uma fazenda de 1.500 hectares em Mato Grosso foi de R\$ 40,35, ou seja, o armazenamento em silo convencional custaria cerca de 6,37 vezes o custo de um armazém proposto.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O custo orçado de construção de um silo com capacidade máxima de armazenamento de 25.000 sacas de soja foi de R\$ 158.146,86, tornado esse investimento viável economicamente, atendendo totalmente as necessidades do produtor agrícola referente ao armazenamento de grãos.

Por se tratar de uma construção modular e desmontável, ela poderá ser ampliada de acordo com a necessidade de armazenamento do produtor agrícola. Em caso de mudanças nas áreas de produção de grãos, o armazém poderá ser transferido rapidamente.

As peças pré moldadas podem ser construídas no local de armazenagem de grãos, diminuindo o custo de transporte e logística.

Este trabalho não considerou cenários com variações de produtividade e preços, tornando mais robusta a análise de viabilidade econômica, o estudo com variações de cenários pode ser um potencial estudo futuro.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 6.123: Forças devido ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, RJ. 1988.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnica. NBR 6118: **Projetos de estruturas de concreto – Procedimentos**, Rio de Janeiro. 2014.

AUSTRALIAN STANDART, AS 3774: **Loads on bulks containers**. Sydney, 1996.

BUSS, R. N., MENDANHA, J. F., SILVA, D. M., SIQUEIRA, G. M. - **Infraestrutura logística de transporte e armazenagem da soja no estado do Maranhão - Brasil**. Brazilian Journal of Development, v.5, n.12. Curitiba. DOI: 10.34117/bjdv5n12-247

FREDERICO, S. – **The modern agricultural frontier and logistics: the importance of the soybean and grain storage system in Brazil**. Terrae Didatica 8 – UNICAMP – Campinas - SP. 2011

CALIL, Jr. C. **Recomendações de fluxo e de cargas para projetos de silos verticais**. Livre Docente. Tese, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, 1997.

COGO, C. H. **Armazenagem de soja na fazenda: Análise da rentabilidade com BASE NA sazonalidade dos preços e na evolução da capacidade estática no Brasil**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2014.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira. 11º Levantamento de Grãos Safra 2012/2013.** Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2013. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 21 de julho de 2020.

D'ARCE, M. A. B. R; **Pós Colheita e Armazenamento de Grãos.** Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição – ESALQ / USP - Piracicaba. 2011.

GOMES, F. C. – **Estudo teórico e experimental das ações em silos horizontais.** Tese de doutorado, EESC/USP, São Carlos – SP, 2000.

GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ. **Planilha Padrão – abril 2020.** Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Obras Públicas – SEDOP. Disponível em [https://www.sedop.pa.gov.br/sites/default/files/planilha\\_sedop\\_abril\\_2020.pdf](https://www.sedop.pa.gov.br/sites/default/files/planilha_sedop_abril_2020.pdf) - Acesso em 15/08/2020.

MILANI, A. S. – **Análise de torres metálicas treliçadas de linhas de transmissão considerando a interação solo-estrutura.** Dissertação de mestrado, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2012.

MORRISON, N. – **Interaccion suelo-estructuras: semi-espacio de Winkler.** Universidade Politecnica de Catuna, Barcelona – Espanha, 1993.

Pelloso, J. A. C, Rasi, J. R, Bigeschi, V. C. Determinação do custo de construção para avaliação de silos horizontais pelo método da quantificação do custo. Revista Ahum, v.21, n.2. Universidade de Marília, Marília. DOI: 10.13140/RG.2.2.30251.87848

RASI, J. R. **Estudo comparativo de sistemas construtivos de silos horizontais.** Monografia (Especialização) – Escola de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras - MG, 2009. DOI:10.13140/RG.2.2.29314.71360

RASI, J. R. **Alternativas estruturais em paredes de concreto pré-moldado de silos horizontais.** Dissertação de mestrado – Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR, São Carlos - SP, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4699/6217.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

RASI, J. R., Figueiredo Filho, J. R., Serafim, J. A. **Análise estrutural de painéis pré-moldado de fechamento de silos horizontais.** Revista de Engenharia Civil IMED –, 2016. DOI: 10.18256/2358-6508/rec-imed.v3n2p39-53

RAVENET, J. **Silos.**: Editores Tecnicos Associados, Barcelona, 1992.

RESENDE, L. M. S. **Modelo logístico de soja e milho no estado de Mato Grosso: minimização de custos de transporte por meio do ideal dimensionamento e localização de armazéns de grão.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá - MT, 2016.

ROSALEN, K. **Porque a armazenagem de grãos é um gargalo para o país.** 2019. Ifope Educacional. Cursos Agrônomos.< <https://blog.ifopecom.br/armazenagem-de-graos/>> acesso em 22 de agosto de 2020.

SILVA, E. T, FREIRE, W. J., CALIL JUNIOR, C. **Elementos pré-moldados de concreto armado, para silos quadrados verticais, modulares, para armazenamento de grãos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.2, n.3. Universidade Federal da Paraíba – Campina Grande, PB, 1998.

SILVA, L. C. **Unidades armazenadoras: planejamento e gerenciamento otimizado**. Boletim Técnico AG: 01/06. UFES- Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - ES, 2006.

SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Editora Aprenda Fácil. Viçosa – MG, 2008.

SOUZA, M. F. - **Otimização locacional de novas unidades armazenadoras de grãos em Minas Gerais**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte - MG, 2019.

VIEIRA, A. R., DALCHIAVON, F. C. - **Custos e viabilidade da implantação de uma unidade armazenadora de grãos no Mato Grosso**. Revista IPecege Esalq, v4 n2. Piracicaba - SP, 2018. DOI: 10.22167/r.ipecege.2018.2.7

VIEIRA FILHO, J. E. R – **Expansão da fronteira agrícola do Brasil: Desafios e Perspectivas**. IPEA – Instituto de Pesquisas Econômica Aplicada. Brasília, 2016.

WEBER, E. A. – **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**, Sales Editora, Canoas – RS, 2005.

# CAPÍTULO 7

## USO DE METANOL E ETANOL NO DIAGNÓSTICO DE FALHAS TÉRMICAS ENVOLVENDO PAPEL KRAFT ISOLANTE

Data de aceite: 01/03/2021

### **Helena Maria Wilhelm**

Vegoor Tecnologia Aplicada  
Colombo – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/5390521534895856>

### **Paulo Oliveira Fernandes**

Vegoor Tecnologia Aplicada  
Colombo – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/7877059584223513>

### **Geovana Carolina dos Santos**

Vegoor Tecnologia Aplicada  
Colombo – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/8635944904322133>

### **Maria Leticia Gomes dos Santos**

Vegoor Tecnologia Aplicada  
Colombo – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/0948310997814490>

### **Thatiane Tamyris Kuczera Pereira**

Vegoor Tecnologia Aplicada  
Colombo – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/7190097179094139>

### **Laís Pastre Dill**

Vegoor Tecnologia Aplicada  
Colombo – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/0143718255333234>

### **Daniel da Conceição Aroucha Filho**

GERA Maranhão – Geradora de Energia do  
Maranhão  
São Luís – Maranhão

### **Marcelo Luiz de Carvalho Ribeiro**

GERA Maranhão – Geradora de Energia do  
Maranhão  
São Luís – Maranhão  
<http://lattes.cnpq.br/7652123700396894>

### **Arley de Paula Mar**

GERA Maranhão – Geradora de Energia do  
Maranhão  
São Luís – Maranhão

### **Pedro José dos Santos Junior**

GERA Maranhão – Geradora de Energia do  
Maranhão  
São Luís – Maranhão  
<http://lattes.cnpq.br/4381498382488170>

**RESUMO:** As metodologias empregadas comumente no diagnóstico de falha térmica em transformadores não permitem esclarecer a influência do papel kraft isolante (PKI) na falha. A utilização de indicadores químicos, relacionados com a decomposição do papel isolante, pode ser uma alternativa para a obtenção de diagnósticos mais precisos. Este trabalho teve como objetivo simular em laboratório a falha térmica envolvendo papel isolante em dispositivo específico para esta finalidade. Um dispositivo de envelhecimento acelerado foi empregado para aquecer o papel em elevadas temperaturas (até 1000 °C), mantendo o óleo isolante em baixa temperatura (< 80 °C). O papel foi enrolado em uma resistência que foi imersa em óleo e aquecida em diferentes temperaturas (100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 °C) e períodos (46, 89, 149 e 244 h). Na sequência, o óleo



isolante foi submetido a análise físico-química (tensão interfacial, índice de neutralização e fator de perdas dielétricas), análise de gases dissolvidos (AGD) e de compostos furânicos. Além disso, o papel isolante teve o grau de polimerização (GP) mensurado em algumas camadas envoltas na resistência. Ao final do período de envelhecimento, foi observada a carbonização do papel nas camadas mais próximas da resistência. A quantidade e o tipo de gases encontrados no óleo indicaram a ocorrência da falha térmica simulada. Por fim, foi possível concluir que o diagnóstico de falha envolvendo papel isolante pode ser determinado pela razão de  $\text{CO}_2/\text{CO}$  e pela concentração de metanol e etanol.

**PALAVRAS-CHAVE:** Falhas térmicas, papel kraft isolante, metanol, etanol, gases de falha.

## USE OF METHANOL AND ETHANOL IN THE DIAGNOSIS OF THERMAL FAILURES RELATED TO INSULATING KRAFT PAPER

**ABSTRACT:** Methodologies commonly used in the diagnosis of thermal failures in transformers does not allow to explain the role of insulating kraft paper (IKP) in the failure. The use of chemical indicators, related to insulating paper decomposition, can be an alternative to obtain more accurate diagnosis. The present study aimed to simulate in laboratory the thermal failure related to insulating paper in a specific device for this purpose. A device for accelerated aging was used to heat the paper at high temperatures (up to 1000 °C), maintaining the insulating oil in low temperature (< 80 °C). The paper wrapped in a resistance immersed in oil and heated in different temperatures (100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 °C) and time (46, 89, 149 e 244 h). Then, the insulating oil was evaluated by physical-chemical analysis (interfacial tension, neutralization index and dielectric loss factor), dissolved gas (DGA) and furanic compounds analyzes. Moreover, the insulating paper had its degree of polymerization (DP) measured in some of the layers wrapped in the resistance. At the end of the aging stage, it was observed the paper carbonization in the layers closer to resistance. The amount and the type of gas found in the oil indicated the occurrence of simulated thermal failure. Lastly, it was concluded that the diagnosis of failure involving insulating paper can be determined by  $\text{CO}_2/\text{CO}$  ratio and by methanol and ethanol concentration.

**KEYWORDS:** Thermal failures, insulating kraft paper, methanol, ethanol, failure gases.

## 1 | INTRODUÇÃO

As metodologias tradicionais de emissão de diagnóstico de falha térmica em transformadores não levam em consideração parâmetros que permitam concluir se o papel kraft isolante (PKI) está ou não envolvido na falha. A utilização concomitante de indicadores químicos, relacionados com a decomposição do papel celulósico isolante, poderá se constituir na complementação necessária para obtenção de prognósticos confiáveis. O principal desafio neste sentido é a obtenção de marcadores químicos estáveis, capazes de indicar o envolvimento do papel isolante em uma falha. Além disso, tais marcadores precisam estar presentes no óleo isolante em concentrações quantificáveis pelos métodos analíticos disponíveis e, ainda, apresentar perfis de formação diferentes comparativamente à degradação normal do papel (Wilhelm et al., 2018; Saha, 2003).

Entre as técnicas químicas empregada na avaliação da qualidade do sistema isolante (óleo e papel), a análise de gases dissolvidos (AGD ou DGA, do inglês) ganhou aceitação mundial como método de diagnóstico para a detecção de falhas de isolamento em transformadores. Os gases indicadores de falhas são produzidos pela degradação do óleo do transformador e dos materiais isolantes sólidos. A taxa de degradação de celulose e de óleo aumenta significativamente na presença de uma falha dentro do transformador (Saha, 2003).

Falhas térmicas levam à produção de compostos gasosos, sendo que os mais comumente analisados são hidrocarbonetos como metano ( $\text{CH}_4$ ), etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), etileno ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ), acetileno ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) e hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), óxidos de carbono como monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e gases não-inflamáveis, como nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e oxigênio ( $\text{O}_2$ ). As descargas elétricas de baixa energia produzem hidrogênio e metano com pequenas quantidades de etano e etileno, enquanto arcos elétricos produzem grandes quantidades de hidrogênio e acetileno e menores quantidades de metano e etileno. O acetileno só é formado em temperaturas muito altas. Metano e etano são produzidos na termodegradação do óleo à baixa temperatura, em temperaturas mais altas ocorre a formação de etileno e hidrogênio assim como metano e etano. É comumente aceito que o gás hidrogênio é formado pelo efeito corona a partir do óleo e de materiais celulósicos (Saha, 2003). A fonte mais conhecida dos óxidos de carbono ( $\text{CO}_2$  e  $\text{CO}$ ) é a degradação da celulose, embora existam trabalhos que indicam a possibilidade destes óxidos de carbono serem também provenientes da degradação do óleo isolante (Islam et al., 2017).

A temperatura em que ocorre a degradação dos materiais isolantes influencia na taxa de concentração do gás formado. Quando ocorre em baixa temperatura a maior formação é de  $\text{CO}_2$  e em altas temperaturas a maior produção é de  $\text{CO}$ . Este comportamento é analisado experimentalmente e explicado quimicamente devido a rápida formação do óxido de carbono quando há alta energia, o aumento da cinética de formação faz com que a reação do  $\text{CO}_2$  seja incompleta, formando  $\text{CO}$ . Algumas informações importantes podem ser extraídas da avaliação da razão  $\text{CO}_2/\text{CO}$ , uma vez que uma razão  $\text{CO}_2/\text{CO} > 10$  pode indicar exposição atmosférica do isolante, enquanto uma razão  $\text{CO}_2/\text{CO} < 5$  indica rápida degradação da celulose (Islam et al., 2017).

Os compostos não gasosos analisados e utilizados como marcadores químicos da degradação do papel são os compostos furânicos. Os compostos furânicos são um grupo de substâncias químicas formadas na oxidação e na hidrólise da celulose. O composto furânico produzido em maior abundância durante as reações de degradação da celulose é o 2-furfuraldeído (2-FAL), todavia, outros compostos furânicos, como o 2-acetilfurano (2-ACF), 5-metil furfuraldeído (5-MEF), 5-hidroxi-metil-2-furfuraldeído (5-HMF) e o álcool furfúrico (2-FOL), têm sido encontrados no papel e no óleo isolantes (ABNT, 2009; Abu-Siada, 2011; Mildemberger, 2014).

A análise de marcadores químicos da degradação do papel em óleo isolante,

como os compostos furânicos, é amplamente descrita em literatura para estimar a vida útil do PKI. Alguns artigos recentes descrevem análises quantitativas de metanol e etanol no óleo mineral isolante (OMI) com o objetivo de avaliar o grau de degradação do PKI em transformadores de potência, em condições normais de operação (envelhecimento normal) (Bare e Merritt, 2018; Jalbert et al., 2015). No presente estudo, foi investigada a possibilidade de usar o metanol e o etanol como indicadores químicos de falhas térmicas envolvendo o papel kraft isolante em transformadores de energia.

Para simular a falha térmica em laboratório foi utilizado neste estudo um dispositivo específico para esta finalidade (Wilhelm e Fernandes, 2018). O dispositivo desenvolvido (patente requerida) permite aquecer o PKI em altas temperaturas (até 1000 °C) mantendo o óleo isolante em baixa temperatura (< 80 °C), evitando assim, o envelhecimento acelerado do fluido. Foram realizados testes de envelhecimento acelerado em escala laboratorial no dispositivo construído. A temperatura do óleo, ao longo do envelhecimento, foi controlada utilizando uma serpentina com água fria ou em situações de maior temperatura usando um banho de gelo. Nestes experimentos, como a temperatura do óleo foi mantida na faixa média de operação do transformador, os resultados podem ser tomados como comparáveis a condição de um transformador em serviço. Parâmetros físico-químicos determinados no OMI, durante o envelhecimento acelerado no dispositivo, comprovaram a pouca degradação do fluido isolante. A quantidade e o tipo de gases encontrados no óleo indicaram a ocorrência da falha térmica simulada. Medições de metanol e etanol foram realizadas para verificar se estes compostos poderiam ser usados para confirmar o envolvimento do PKI na falha térmica.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Dispositivo de envelhecimento acelerado

Foi utilizado um dispositivo de envelhecimento acelerado para simular a falha térmica em laboratório (Figura 1), cuja propriedade intelectual foi solicitada ao INPI (Wilhelm e Fernandes, 2018). Esse equipamento pode ser operado em diferentes temperaturas, ajustadas e controladas e em diferentes atmosferas, de forma a simular condições de operação de equipamentos de energia.

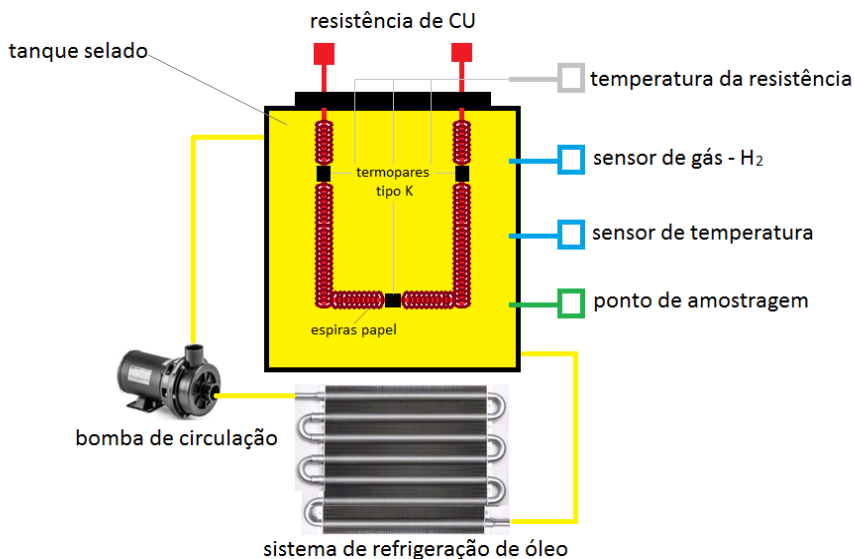


Figura 1 - Modelo aproximado do dispositivo de envelhecimento acelerado utilizado na simulação da falha térmica (Wilhelm e Fernandes, 2018).

## 2.2 Envelhecimento acelerado de papel e análises físico-químicas

Foi realizado um primeiro ensaio, no dispositivo de envelhecimento acelerado, utilizando-se 310 g de papel kraft termoestabilizado (PKT), com GP igual a 1100, totalizando 32 voltas na resistência (Figura 2), e 16,9 L de óleo mineral isolante (OMI) e a temperatura da resistência foi ajustada para 200 °C. As 32 camadas de papel foram enumeradas de dentro para fora, sendo a de número 1 a camada anexada à resistência e a de número 32 a camada mais externa. Um termopar foi enrolado junto à resistência para que a temperatura real da resistência e consequentemente das primeiras voltas de papel fossem medidas. O ensaio de envelhecimento acelerado teve duração de 244 h. A cada intervalo de 46 h foram retiradas amostras de óleo para análise físico-química, análise de gases dissolvidos (AGD) e de compostos furânicos. A AGD foi realizada conforme metodologia da ABNT NBR 7070 e ASTM D3612 (método A) (ABNT, 2006; ASTM, 2017). Os compostos furânicos (2-FAL, 5-HMF, 2-FOL, 5-MF e 2-ACF) foram analisados em equipamento Agilent, 1100 series HPLC (ASTM, 2015). Foram realizados ensaios de grau de polimerização (GP) nas amostras de PKI de algumas camadas envoltas na resistência (ABNT, 2009).

Em um segundo ensaio, foram enrolados 49,6 g de PKT na resistência do dispositivo de envelhecimento acelerado, totalizando 12 voltas e 62 metros de papel (Figura 2). As 12 camadas de papel foram enumeradas de dentro para fora, sendo a de número 1 a camada anexada à resistência e a de número 12 a camada mais externa. Um termopar foi enrolado junto à resistência para que a temperatura real da resistência e consequentemente das

primeiras voltas de papel fosse medida. A resistência contendo o papel envolto foi imersa em OMI, aquecida a 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 °C e mantida durante 8 h em cada uma destas temperaturas. Por exemplo, a resistência foi aquecida até 100 °C durante 8 h, depois disso a temperatura foi aumentada para 150 °C e mantida a esta temperatura durante 8 h, depois para 200 °C durante 8 h e assim sucessivamente. O óleo não foi trocado durante esses testes de envelhecimento acelerado. Amostras de óleo foram coletadas em intervalos de 8 em 8 h e a temperatura do óleo, ao longo do envelhecimento, foi controlada utilizando uma serpentina com água fria ou, em situações de maior temperatura, empregando um banho de gelo.

A temperatura do óleo em nenhum momento, durante os testes de envelhecimento, passou de 70 °C. Foram realizados ensaios de grau de polimerização (GP) nas amostras de PKT de algumas camadas envoltas na resistência. Nas amostras de OMI, coletadas em intervalos de 8 h, foram analisados os gases dissolvidos (DGA) e os compostos furânicos. As concentrações de metanol e etanol foram medidas usando cromatografia em fase gasosa com detector de espectrometria de massas (Agilent modelo 7820A, com *headspace* e acoplado a um detector de espectrometria de massas Agilent modelo 5977B com ionização por impacto de elétrons a 70 eV e analisador do tipo quadrupolo). Foram determinados alguns parâmetros físico-químicos no OMI durante o envelhecimento acelerado, a saber, tensão interfacial, índice de neutralização e fator de perdas dielétricas.



Figura 2 – Papel enrolado à resistência e termopar no primeiro e no segundo ensaio, comendo 32 e 12 voltas, respectivamente.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra a aparência do papel envolto na resistência ao final do primeiro e segundo ensaio, realizados no dispositivo de envelhecimento acelerado. Na Figura 4 são apresentados o aspecto do papel das 32 camadas (primeiro ensaio) e os resultados de GP para estes papéis. Foi observado um decréscimo do GP das camadas mais externas para as internas.



Figura 3 – Aspecto do papel, enrolado à resistência, ao término do primeiro e segundo ensaio, respectivamente.

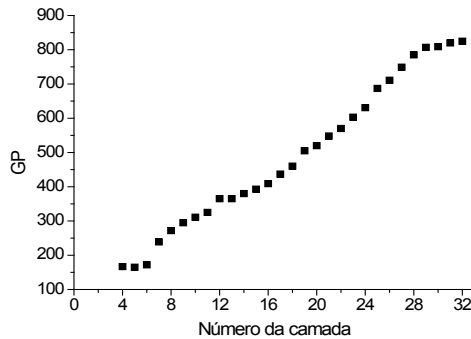


Figura 4 – Aspecto do papel, enrolado à resistência, ao término do primeiro ensaio e GP do papel das camadas 32 a 4.

Foram realizados ensaios de GP apenas nas amostras de papel das camadas 12, 11 e 10 do segundo ensaio (Figura 5). Nas camadas mais próximas à resistência (camadas < 9) não foi possível realizar esse ensaio, uma vez que o papel estava muito degradado, aproximando-se de cinzas (carbonização), conforme apresentado na Figura 5. Da 10<sup>a</sup> para a 12<sup>a</sup> camada o GP encontrado foi entre 318 e 229.



Figura 5 – Aspecto do papel, envolto na resistência, ao término do ensaio e GP do papel das camadas 12, 11 e 10.

Um papel celulósico novo tem tipicamente um GP de 1200 e um valor de 150–200 indica o final de sua vida útil, em que o papel do transformador não tem resistência mecânica suficiente, podendo resultar em uma possível falha se ocorrer estresse mecânico (ABNT, 2009). Considerando como critério de final de vida útil um GP de 200, pode-se concluir que cerca de 18,75% do papel utilizado atingiu essa condição para o segundo ensaio (camadas 1 – 6) e cerca de 75% para o primeiro ensaio (camadas 1 – 9). Esses resultados confirmam que os experimentos realizados simularam condições de uma falha térmica envolvendo papel isolante.

Os compostos furânicos, formados na oxidação e hidrólise da celulose do PKT (ABNT, 2009; Abu-Siada, 2011; Mildemberger, 2014), também foram determinados em função do tempo de envelhecimento e da temperatura para os dois ensaios realizados (Tabelas 1 e 2). As concentrações dos compostos furânicos aumentaram com o acréscimo do tempo (Tabela 1) e da temperatura de simulação da falha (Tabela 2). A análise de 2-FAL (Tabelas 1 e 2), deixou clara a maior confiabilidade na utilização deste composto como marcador químico na degradação do papel comparativamente aos outros compostos furânicos, porque sua formação é crescente em relação ao tempo e à temperatura. Os dados de 2-FOL obtidos nos dois ensaios acelerados corroboram com informações de Mildemberger (2014), que mostrou em seu trabalho que a análise de 2-FOL não é recomendada para o acompanhamento da degradação celulósica por se tratar de um composto instável.



Composto furânico	Tempo de ensaio (horas)				
	0	46	89	149	244
2-FAL	0,15	1,87	2,01	4,94	6,62
2-FOL	0,13	0,48	0,99	0,64	1,1
2-ACF	0,02	0,15	0,18	0,25	0,12
5-HMF	0,13	0,64	0,79	0,53	0,65
5-MEF	0,03	0,65	0,76	1,6	1,75
<b>TOTAL</b>	<b>0,46</b>	<b>3,79</b>	<b>4,73</b>	<b>7,96</b>	<b>10,24</b>

Tabela 1 – Concentração de compostos furânicos no OMI do primeiro ensaio.

Composto furânico	Temperatura			
	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C
2-FAL	0,10	0,79	2,48	94,7
2-FOL	0,03	2,50	1,71	0,19
2-ACF	0,04	0,60	4,38	14,9
5-HMF	0	0,18	2,44	3,14
5-MEF	0	0,03	1,23	4,0
<b>TOTAL</b>	<b>0,17</b>	<b>4,1</b>	<b>12,24</b>	<b>116,93</b>

Tabela 2 – Concentração de compostos furânicos no OMI do segundo ensaio.

A AGD no óleo isolante fornece informações gerais sobre a condição de operação do transformador, mais especificamente sobre o tipo e a severidade do defeito ou falha, quando existente (Wang et al., 2017). Os resultados da AGD do segundo ensaio são mostrados na Tabela 3. A quantidade e o tipo de todos os gases encontrados no óleo indicam a ocorrência da falha térmica simulada. Em geral, a concentração dos gases aumentou em uma taxa mais alta em temperaturas acima de 300 °C, como esperado (Wang et al., 2017).

A razão  $CO_2/CO$  foi decrescente com o tempo (primeiro ensaio) e com a temperatura (segundo ensaio), conforme apresentado na Figura 6. Água e os óxidos de carbono ( $CO$  e  $CO_2$ ) são os principais subprodutos da degradação térmica da celulose. Portanto, o  $CO$  em um transformador pode indicar celulose superaquecida. Além disso, quantidades crescentes de  $CO$  em serviço não significam necessariamente que haja uma falha envolvendo papel. Entretanto, a relação  $CO_2/CO$  pode ser útil na identificação de possíveis efeitos de temperatura (BANOVIC et al., 2015).



Temperatura da resistência (°C)	Concentração do gás (ppm)					
	H <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
100	1	2	1	0	0	0
150	1	11	0	0	0	0
200	2	51	4	1	1	0
250	2	116	34	31	25	0
300	17	341	276	162	105	0
350	110	1595	1290	1344	602	0
400	230	3771	3042	4483	4836	0

Tabela 3 – Concentração de gases dissolvidos no óleo mineral isolante em função da temperatura de aquecimento da resistência contendo o papel isolante.

Nos experimentos realizados, a razão CO<sub>2</sub>/CO praticamente atingiu o limite de cerca de 3 para o primeiro ensaio e ficou próximo de 1 ao término do segundo ensaio (Figura 6). O arranjo experimental utilizado neste trabalho permitiu simular falhas envolvendo papel isolante com pouco envolvimento do óleo. Como a relação CO<sub>2</sub>/CO diminuiu com a quantidade de papel envolvida na falha, esta pode ser usada como ferramenta auxiliar no diagnóstico de falhas térmicas envolvendo PKT.

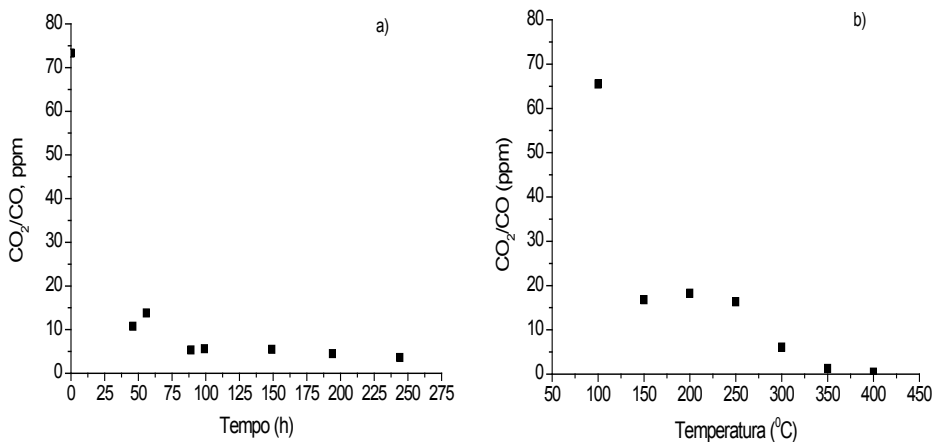


Figura 6 – Razão CO<sub>2</sub>/CO em função a) do tempo (primeiro ensaio) e b) da temperatura da resistência contendo o papel isolante (segundo ensaio).

O envelhecimento acelerado do OMI também foi avaliado durante o ensaio realizado com rampa de temperatura e os resultados obtidos mostram que o óleo não degradou significativamente nas condições experimentais utilizadas neste trabalho (Tabela 4). No entanto, a pequena variação nas propriedades do óleo mostra que há um gradiente de

temperatura no óleo na superfície da resistência/papel. Embora a temperatura do óleo no dispositivo de envelhecimento acelerado tenha sido mantida relativamente baixa e constante, o aumento da temperatura no ponto quente causou alguma oxidação no mesmo.

Propriedade	Óleo novo	Qualidade do óleo ao término do:	
		Primeiro ensaio	Segundo ensaio
Tensão interfacial (mN/m)	46	38	31
Índice de neutralização (mg KOH/g)	0,01	0,08	0,03
Fator de perdas dielétricas 100 °C (%)	0,15	1,42	1,03

Tabela 4 – Propriedades físico-químicas do OMI usado nos ensaios de simulação da falha térmica.

Concentrações de metanol nas amostras de óleo do segundo ensaio realizado no dispositivo de envelhecimento acelerado foram detectadas em temperaturas  $\geq 150$  °C, enquanto teores de etanol foram encontrados em temperaturas  $\geq 350$  °C (Figura 7). Metanol foi detectado quando a razão  $CO_2/CO$  é  $\leq 18$  enquanto que o etanol foi detectado quando esta razão foi  $< 3$ . Como o etanol foi detectado em temperaturas muito superiores ao metanol e em baixas razões de  $CO_2/CO$ , o uso deste composto é recomendado na confirmação de falhas envolvendo PKT, em conjunto com a razão  $CO_2/CO$ . Os autores deste artigo estão criando um banco de dados de AGD,  $CO_2/CO$ , metanol e etanol para apresentação e discussão futura de nova metodologia de diagnóstico de falhas envolvendo papel isolante.

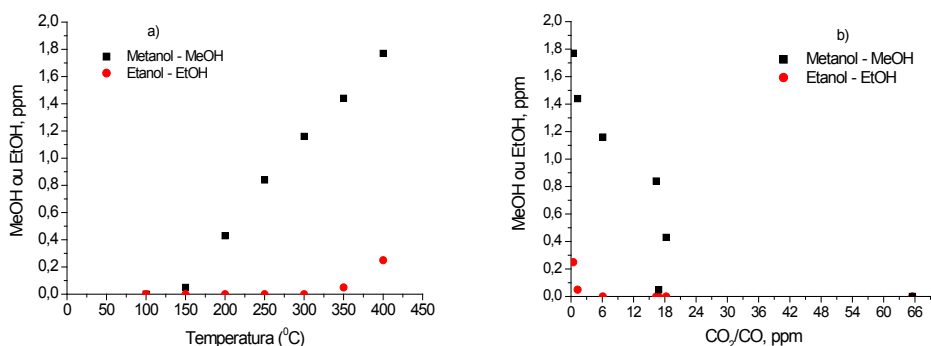


Figura 7 – Concentração de metanol e etanol em função da a) temperatura e b) da razão  $CO_2/CO$ , no OMI do segundo ensaio.

## 4 | CONCLUSÃO

O conjunto específico de testes apresentados neste artigo focalizou apenas na simulação de condições de falha térmica. Em geral, o diagnóstico pela metodologia tradicional de AGD confirmou a falha térmica simulada em laboratório, no dispositivo de envelhecimento acelerado utilizado.

Os resultados obtidos podem ser utilizados na manutenção preditiva de transformadores que empregam PKI e OMI. A utilização concomitante dos indicadores químicos investigados, metanol e etanol, associado aos resultados da razão  $\text{CO}_2/\text{CO}$ , relacionados com a decomposição do papel celulósico isolante, poderá se constituir na complementação necessária para obtenção de prognósticos confiáveis de falhas envolvendo papel isolante.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ANEEL e GERA MARANHÃO pelo apoio na execução do projeto de P&D PD 6492-0116/2016, e ao CNPq pela bolsa de Desenvolvimento Tecnológico concedida à pesquisadora Helena M. Wilhelm.

## REFERÊNCIAS

ABU-SIADA, A. **Correlation of furan concentration and spectral response of transformer oil-using expert systems**. IET Science Measure & Technology, v. 5, p. 183–188, 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Standard test method for analysis of gases dissolved in electrical insulating oil by gas chromatography**. ASTM D3612:2017. United States of America.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Standard test method for furanic compounds in electrical insulating liquids by high-performance liquid chromatography (HPLC)**. ASTM D5837, 2015. United States of America.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Amostragem de gases e óleo mineral isolantes de equipamentos elétricos e análise dos gases livres e dissolvidos**. ABNT NBR 7070:2006. Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Medição do grau de polimerização viscosimétrico médio de materiais celulósicos novos e envelhecidos para isolação elétrica**. ABNT NBR IEC 60450:2009. Brasil.

BANOVIC, M., RAMACHAJ, P., REGO, N., JUSTIZ, P. **Significance of  $\text{CO}_2/\text{CO}$  ratio in dissolved gas analysis**. Transformers Magazine, v. 2, n. 1, p. 30-35, 2015.

BARE, C. E., MERRITT, S. Y. **Methanol as an ageing marker for in service transformers**. IEEE Transactions on Industry Applications, v. 978, p. 1–7, 2018.

ISLAM, M. M., LEE, G., HETTIWATTE, S. N. **A review of condition monitoring techniques and diagnostic tests for lifetime estimation of power transformers.** Electrical Engineering, p. 1–25, 2017.

JALBERT, J., CELIS, E. R., DUCHESNE, S., MORIN, B., RYADI, M., GILBERT, R. **Kinetics of the production of chain-end groups and methanol from the depolymerization of cellulose during the ageing of paper/oil systems. Part 3: extension of the study under temperature conditions over 120 °C.** Cellulose, v. 22, p. 829–848, 2015.

MILDEMBERGER, L. **Avaliação do desempenho de indicadores de degradação de sistemas isolantes papel/óleo usados em transformadores de potência.** Mestrado, 99 p, 2014.

SAHA, T. K. **Review of modern diagnostic techniques for assessing insulation condition in aged transformers.** IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, v. 10, n. 5, p. 903–917, 2003.

WANG, X. F., WANG, Z. D., LIU, Q., WILSON, G., WALKER, D., SMITH, P. W. R. **Dissolved gas analysis (DGA) of mineral oil under thermal faults with tube heating method.** In Dielectric Liquids (ICDL), 2017 IEEE 19th International Conference, 2017.

WILHELM, H. M., FERNANDES, P. O. **Pedido de patente BR 10 2018 010033 5**, depositado em 17/05/2018. Brasil.

WILHELM, H. M., FERNANDES, P. O., SANTOS, G. C., SANTOS, M. L. G., KUCZERA, T., RIBEIRO, M., SANTOS JR. P. J., AROUCHA, D., MAR, A. **Simulação, em laboratório, de falha térmica envolvendo papel isolante.** IX WORKSPOT- International Workshop on Power Transformers, Equipment, Substations and Materials, Foz do Iguaçu, PR, 2018.

## SÍNTESE E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM COMPÓSITO CERÂMICO ZIRCÔNIA E ALUMINA PARA APLICAÇÃO EM PRÓTESE CRANIOMAXILOFACIAL

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 01/12/2020

**José Victor Passos Santiago**

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUCMG)  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/9448145190239553>

**Viviane Silva Gomide**

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUCMG)  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/8511051015746763>

**RESUMO:** Devido à necessidade de reparar ou reconstruir tecidos ósseos, são desenvolvidos biomateriais com aplicações biomédicas para proporcionar melhor qualidade de vida às pessoas que necessitam recorrer a esse tipo de tratamento. Para a seleção do material a ser utilizado, é necessário avaliar alguns fatores fundamentais como, sua resistência mecânica, biocompatibilidade e biofuncionalidade. Muitas vezes, apenas um material não possui todas as propriedades desejadas, sendo necessária a formação de um compósito, com a finalidade de garantir as características adequadas. O presente trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades mecânicas de um compósito cerâmico zircônia/alumina desenvolvido para aplicação em prótese craniomaxilofacial, bem como sua citotoxicidade em fibroblastos humanos. Serão feitos ensaios de resistência à

compressão, tenacidade à fratura, Microscopia Eletrônica de Varredura e medida do tamanho de partículas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biomateriais, zircônia, alumina, prótese craniomaxilofacial, propriedades mecânicas.

### SYNTHESIS AND EVALUATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF A CERAMIC ZIRCONIA AND ALUMINA COMPOSITE FOR APPLICATION IN CRANIOMAXILLOFACIAL PROSTHESIS

**ABSTRACT:** Due to the need to repair or reconstruct bone tissues, biomaterials for biomedical applications are developed to provide better quality of life for people who need to use this kind of treatment. Firstly, to select the material to be used, it is necessary to consider some fundamental factors about it such as its mechanical resistance, biocompatibility and biofunctionality. Often, only simple material does not have all the desired properties, requiring the formation of a composite, in order to guarantee adequate characteristics. The present research aims to evaluate the mechanical properties of a ceramic zirconia / alumina composite developed for application in craniomaxillofacial prosthesis, as well as its cytotoxicity in human fibroblasts. Tests will be made of resistance to compression, fracture toughness, scanning electron microscopy analyze and particle size measurement.

**KEYWORDS:** Biomaterials, zirconia, alumina, craniomaxillofacial prosthesis, mechanical properties.

## 1 | INTRODUÇÃO

O corpo humano tem uma habilidade limitada para corretamente auto regenerar grande, se não total, parte de seus tecidos e órgãos que eventualmente tenham perdido sua integridade por um dano severo como resultado de transtornos médicos envolvendo certa disfunção em seus tecidos ou graves danos ao seu funcionamento. (CHEN; LIU, 2016)

Encarando este cenário onde é possível encontrar cada vez uma maior quantidade de traumas, doenças degenerativas e anormalidades congênitas a engenharia de tecidos e a medicina prometem encontrar novos métodos para uma gama de diversas doenças que, atualmente, são intratáveis. Além disso, na maioria dos casos, esse tipo de pesquisa procura auxiliar e acelerar o processo regenerativo, estimulando o potencial de cura inerente do paciente ou, alternativamente, para criar tecidos biológicos de substituição (ou, mais desafiadoramente, órgãos inteiros) às partes do corpo substituídas, deterioradas ou perdidas. (CHEN; LIU, 2016)

## 2 | CONCEITUAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Biomaterias e Biocompatibilidade

Os biomateriais são materiais de origem sintética ou biológica que são utilizados na criação de implantes e sistemas que terão contato com sistemas biológicos ou tecidos vivos com o intuito de reparar algum tipo de injúria tecidual a fim de restaurar funções que foram comprometidas por traumatismos ou processos degenerativos naturais. Contudo, vários autores buscam definir biomaterial como qualquer material “não-vivo” utilizado na medicina que têm o propósito de interagir com um organismo ou sistema vivo. Biocompatibilidade também é um conceito associado aos biomateriais, que é tratada como a capacidade de um material tem de desempenhar uma certa função quando alocado em um certo sistema vivo, ou seja, de receber uma resposta do organismo positiva. (TURRER; FERREIRA, 2008)

Um grande desafio no estudo do campo dos biomateriais é que todo dispositivo que substitui um tecido vivo têm que substituir um tecido ao qual a natureza levou milhões de anos para otimizar seu funcionamento, ou seja, durante milhões de anos houve diversas mudanças evolutivas nos mesmos que possibilitaram uma melhora significativa de suas propriedades físicas. Estes tecidos também possuem capacidade de crescimento, regeneração e reparo que dificultam ainda mais a busca de um biomaterial perfeito. Desta forma, todos os biomateriais que são artificiais representam somente ajustes de características e propriedades físicas encontrados previamente no tecido. O sucesso ou fracasso destes materiais dependem totalmente de que função ele está sendo aplicado e, principalmente, a interação que este novo corpo terá com o ambiente vivo de certa parte do corpo. (ORÉFICE et al, 2006)

Biocompatibilidade pode ser entendida como uma característica de um material que é usado como substituto de um tecido ou órgão de não causar reações indesejáveis ao paciente. Este material deve desempenhar a função durante longo tempo sem haver a necessidade de substituí-lo. Um material que apresenta essa característica não pode causar danos onde é alocado e/ou nos tecidos próximos a ele, assim como também, não pode causar reações imunológicas locais – infecções – em tecidos, órgãos ou sistemas distantes do local onde foi implantado. (DA SILVA, 2017)

A biocompatibilidade de um material está associada a quatro fatores muito importantes. O primeiro fator está relacionado aos fenômenos físico-químicos que acontecem entre o implante e o tecido nos primeiros instantes de contato. O segundo aspecto é a resposta do corpo mediante ao biomaterial implantado. As mudanças que os materiais sofrem no meio em que foram implantados, como corrosão e degradação, é o terceiro fator. E por último, o organismo pode ter reações em outras partes que não estão conectados com o implante. (MAIA et al, 2017)

## 2.2 Biocerâmicas

Materiais cerâmicos apresentam como característica comum possuir tanto metais como não-metais em sua constituição. Estes componentes são unidos através de ligações iônicas e/ou covalentes. Desta forma, suas propriedades diferem dos metais, sendo tratados, geralmente, como isolantes, translúcidos, não-deformáveis e bem estáveis. Com isto, são muito usados como materiais refratários, assim como o MgO, pois pode suportar grandes temperaturas sem perder sua estabilidade. (VAN VLACK, 1984)

Os materiais cerâmicos são compostos inorgânicos, não metálicos, tipicamente duros, frágeis, com altas temperaturas de fusão, baixa condutividade elétrica e térmica, e boa estabilidade química. (CALLISTER)

Os materiais cerâmicos e vítreos têm sido usados durante um longo tempo pela indústria médica devido ao fato de sua ampla capacidade de aplicação em diversos casos. Porém, o uso de cerâmicas intracorpóreas (próteses) é um fato recente da medicina. Por exemplo, a alumina vem sendo usada somente há 20 anos. (ORÉFICE et al, 2006)

Por ser uma classe de biomateriais, as cerâmicas, vidros e vitrocerâmicas são utilizadas principalmente para a substituição de tecidos conectivos ditos duros. Muitas destas cerâmicas já foram testadas em corpos humanos, mas não apresentaram características favoráveis para sua utilização. O sucesso de uma biocerâmica está na associação de uma relação favorável com tecidos vizinhos ao seu local de implante e um bom comportamento mecânico para exercer a função do tecido danificado. (ORÉFICE et al, 2006)

Cerâmicas têm sido usadas como componentes ortopédicos desde a década de 70, quando Boutin e Blanquaert começaram a usar uma articulação artificial de quadril composta de alumina ( $Al_2O_3$ ) em um estudo que durou 10 anos. Por volta da mesma época, Shikata (1977) reportou sua experiência com alumina usada em articulações da

cabeça femoral de pacientes. (KURTZ et al, 2014)

O potencial de uma cerâmica como biomaterial recai em suas compatibilidades fisiológicas com o ambiente. Biocerâmicas são compatíveis porque são compostas de íons comumente encontradas em ambiente fisiológico (cálcio, potássio, magnésio, sódio e etc) e por íons que apresenta toxicidade limitada para tecidos do corpo (zircônia e titânia). (HENCH, 2013)

Como é conhecido, nenhum material é realmente inerte, já que todos materiais incitam algum tipo de reação do organismo mesmo sendo muito pequena. Cerâmicas bioinertes possuem comportamento quase inerte. As cerâmicas inertes não são solúveis em meio fisiológico conseguindo garantir uma estabilidade neste ambiente por muito tempo. Quando é aplicada em implantes, materiais cerâmicos possuem ligações por meio de ancoramento mecânico. Quando é alocada, há a formação de um tecido fibroso em volta do material. (ORÉFICE et al, 2006)

Em aplicações biomédicas, cerâmicas bioinertes com uma alta resistência são usadas como ossos, juntas e aplicações dentárias para suportar altas cargas mecânicas. Alumina é conhecida por possuir alta resistência ao desgaste e comportamento bioinerte notável. Por outro lado, a zircônia apresenta um menor Módulo de Young e apresenta uma dureza maior que a alumina. Um estudo prévio demonstrou que um compósito de Zircônia-Alumina possui ~ 6,7 MPa de resistência a fratura maior que um osso cortical. (ESFAHANI et al, 2006)

Biocerâmicas baseadas em alumina e zircônia têm encontrado variadas aplicações na ortopedia e implantes dentários devido a sua alta resistência a corrosão, excelente dureza, alto Módulo de Young, resistência mecânica adequada e comportamento bioinerte. (PANDEY et al, 2013)

## 2.3 Alumina

O óxido de alumínio, também chamado de alumina que possui fórmula molecular  $Al_2O_3$  apresenta diversas formas cristalinas. A principal forma de extração deste material é através do beneficiamento pelo processo de refinamento Bayer do alumínio feito a partir de minérios de bauxita. (SARTORI, 2015)

Uma das mais importantes propriedades da alumina é sua alta temperatura de fusão, estabilidade química, resistência elétrica e dureza. (LEE; RAINFORTH, 1994)

A alumina é utilizada na forma densa ou porosa principalmente na forma  $\alpha-Al_2O_3$  policristalina produzida através de um processo de prensagem e sinterização numa temperatura de 1.600°C. Seus usos principais são como ponto de apoio de carga em uma prótese de quadril e implantes dentários, pois suas principais características apresentam uma excelente combinação da resistência à corrosão, resistência à abrasão, alta resistência mecânica e uma boa biocompatibilidade, sendo considerada bioinerte. (ORÉFICE et al, 2006)



## 2.4 Zircônia

O dióxido de zircônio ( $ZrO_2$ ) ou zircônia, foi um material cerâmico identificado pela primeira vez em 1789 pelo químico alemão Martin Heinrich Klaproth ao ser obtido com o aquecimento de algumas pedras preciosas de zircão. Foi isolado pela primeira vez pelo químico sueco Jöns Jacob Berzelius em 1824, seu principal uso durante um tempo foi como pigmentação para cerâmica quando misturado com raros óxidos de terras. (LANÇA, 2017)

Cerâmicas feitas de zircônia tem grandes vantagens em relação a outros materiais cerâmicos, devido aos mecanismos de endurecimento que operam durante sua transformação de microestrutura que dão aos seus componentes, propriedades mecânicas muito interessantes. As pesquisas sobre o uso de cerâmicas de zircônia como biomaterial começaram por volta de vinte anos atrás, e agora a zircônia estabilizada com ítria (Y-YZP) é amplamente usada na área biomédica. (PICONI; MACCAURO, 1999)

Entre todos os materiais usados na ortopedia, zirconia é talvez uma que possui a maior controvérsia entre os cientistas, indústria e médicos. Zirconia foi introduzida 20 anos atrás para resolver problemas relacionados a fragilidade da alumina e seu consequente potencial de falha em seu uso para implantes. Atualmente, mais de 600.000 de implantes relacionados a cabeça femoral – parte do fêmur que entra em contato com o quadril – são feitos de zirconia. (CHEVALIER, 2006)

## 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Processamento Cerâmico

Para a realização deste experimento, foi preciso desenvolver experimentalmente uma biocerâmica para diversos ensaios e testes. Durante a preparação da barbotina, foi feita uma mistura de 50 gramas de zircônia e 50 gramas de alumina, para a formação do compósito alumina-zircônia. Para completar o volume adequado, foi adicionado 400 mL álcool etílico 70%. O defloculante utilizado foi bicarbonato de sódio na quantidade de 3 gramas.

Os procedimentos básicos desenvolvidos durante este experimento, realizado nos pós cerâmicos, seguem as seguintes etapas: preparação da barbotina, moagem da barbotina em um moinho de bolas, desaglomeração da barbotina, secagem do material, conformação dos corpos de prova utilizando uma prensa uniaxial, sinterização e preparação das amostras através de lixamento e polimento. Foi utilizado um molde cilíndrico de aço inox 316 com cavidade no centro de 18 mm de diâmetro e 500 mm de profundidade segundo a norma ASTM C773-88.

### 3.2 Caracterização das amostras e avaliação das propriedades mecânicas

A categorização das microestruturas das amostras geradas durante o experimento, utilizou o processo de Microscopia eletrônica de Varredura. Este trabalho utilizou o

microscópio eletrônico de varredura, ou MEV, modelo JSM- IT300LV. Esta operação tem como objetivo avaliar e estudar as porosidades abertas superficiais das amostras e de fratura, conforme a norma NBR 13818. A análise foi dividida em duas etapas distintas. Uma delas foi realizada em uma região superficial do material e a outra em uma região de fratura.

Para o ensaio de granulometria das amostras, foi realizado um teste em duas amostras distintas. A análise da distribuição granulométrica dos pós cerâmicos foi realizada na Universidade Federal de Minas Gerais por meio do Software Cilas. Para a determinação da microestrutura e das propriedades mecânicas das amostras, foram realizados ensaios de compressão, compressão diametral, cálculo da absorção de água, análise feita em microscópio ótico e medida de tamanho de poro.

### **3.3 Ensaios biológicos**

Para determinar a citotoxicidade de agentes medicinais potenciais e de outros materiais tóxicos foi realizado o Ensaio de MTT. O ensaio de captação do corante Tetrazolium (MTT) tem capacidade de avaliar a metabolização deste sal pela ação de enzimas mitocondriais. (BERRIDGE et al., 1993). As linhagens celulares foram cultivadas em meio de cultura em uma placa de 24 poços numa densidade de  $5 \times 10^4$  células por poço e incubadas por 18 horas a 37°C em estufa com 5%CO<sub>2</sub> (GOMIDE, 2010).

## **4 | RESULTADOS**

### **4.1 Processamento Cerâmico**

A primeira etapa do presente trabalho tinha como foco a sintetização de um compósito de 50% de alumina e 50% de zircônia. Ambos os materiais, inicialmente em formato de pó cerâmico demonstraram uma excelente capacidade de serem mesclados e administrados em um formato cilíndrico. As amostras padrões foram de 5 e 10 gramas. As amostras de 10 gramas foram utilizadas para ensaios mecânicos de compressão, compressão diametral e ensaio MTT, e as amostras de 5 gramas foram utilizadas para a análise do MEV, granulometria o ensaio de Arquimedes.

### **4.2 Caracterização das amostras e avaliação das propriedades mecânicas**

A utilização do MEV, ou microscópio eletrônico de varredura, foi necessária para caracterizar a microestrutura das amostras geradas durante o experimento. A análise foi dividida em duas etapas distintas. Uma delas foi realizada em uma região superficial do material e a outra em uma região de fratura. As figuras 1 e 2 representam, com ampliação de 500x (à esquerda) e 2000x (à direita), as imagens obtidas pelo MEV respectivamente nas regiões de superfície e de fratura do material.

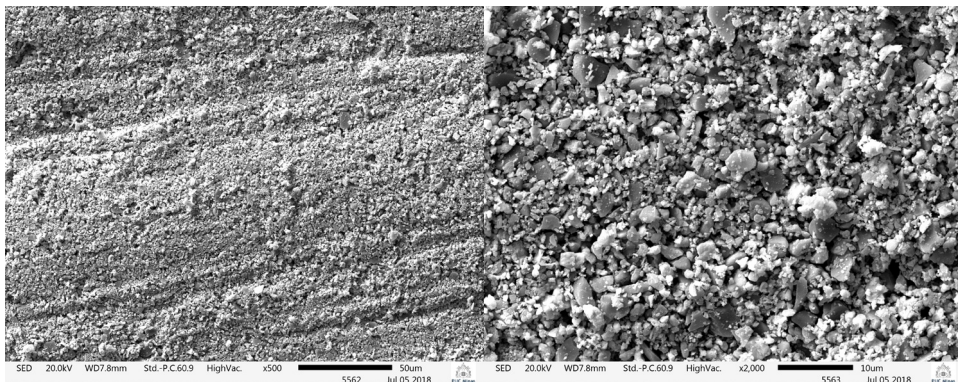


Figura 1: MEV na Região de superfície

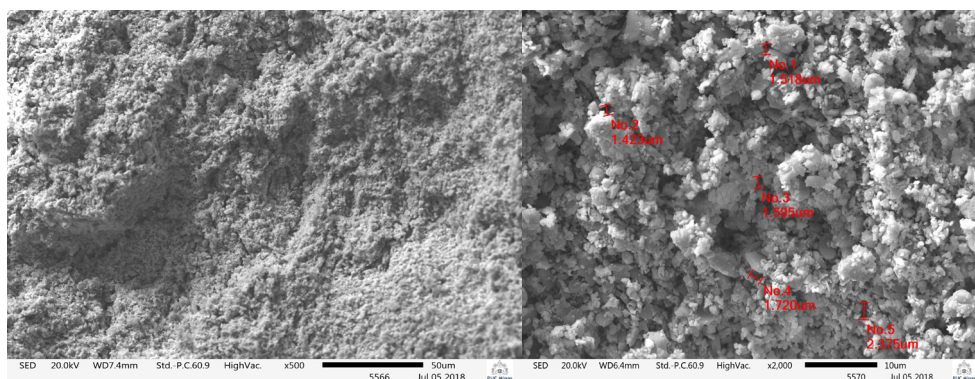


Figura 2: MEV na Região de fratura

Os resultados observados no MEV experimento foram satisfatórios, a superfície apresentou uma porosidade média de 1.9224  $\mu\text{m}$  enquanto a região de fratura apresentou uma porosidade média de 1.7262  $\mu\text{m}$ . Este fenômeno evidencia que o material tem uma maior densidade interna em relação a densidade superficial, isto se deve ao fato do processamento cerâmico que foi realizado nas amostras, desde o processo de compactação do pó até o processo de sinterização.

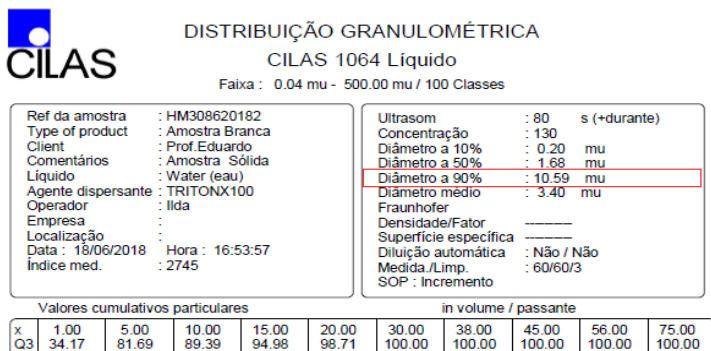
Como o material tratado é uma biocerâmica utilizada para próteses, é desejável que o mesmo tenha uma baixa porosidade, já que o material quando utilizado como substituto ósseo requer que haja um desenvolvimento celular na superfície do mesmo.

Os experimentos de compressão normal e compressão lateral apresentaram uma média de tensão de ruptura de 12,61 MPa e 4,22 MPa, respectivamente. Estes valores, estipulados por experimentos anteriores, demonstram uma excelente capacidade do material como substituto ósseo.

O ensaio de absorção de água, ou também chamado de Ensaio de Arquimedes,

foi realizado utilizando 7 amostras. A média de absorção de água pelo biomaterial foi de 20,09% do seu peso em água. De forma resumida, quando em contato com o corpo, o compósito estudado apresentaria uma massa relativa 20% maior que quando seca.

Para o ensaio de granulometria das amostras, utilizando duas amostras distintas, apresentaram valores de diâmetros de grãos médio de 10,59  $\mu\text{m}$  e 12,52  $\mu\text{m}$ . Esse resultado foi satisfatório, pois o objetivo era atingir o tamanho mínimo de 10  $\mu\text{m}$  devido a biocompatibilidade do material. Os resultados deste ponto estão demonstrados na figura 3 abaixo.



x : diâmetro / mu Q3 : valor cumulativo / % q3 : Histograma / %

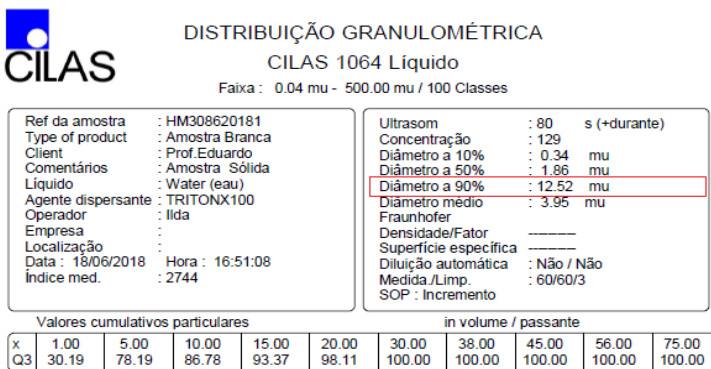


Figura 3: Distribuição granulométrica

### 4.3 Ensaios biológicos

A figura 6 exibe graficamente o resultado dos experimentos de viabilidade celular realizados em laboratório, usando placas Petri contendo fibroblastos humanos e o compósito Al2O3/ZrO2.

O primeiro experimento, representado pela primeira coluna do gráfico, representa um

controle para fins comparativos, onde nele há uma população de células correspondendo 100% do total. No segundo, há um cultivo de células em um meio contendo produto iônico (10% v.v. de soro bovino fetal (SBF) (Gibco, EUA)), formando um ambiente propício para o crescimento da população de fibroblastos. Na última coluna, pode ser observado o resultado de um meio contendo o produto iônico, os fibroblastos e o compósito. Como pode ser visto, as células conseguiram sobreviver nesse meio e além disso, continuaram a se proliferar. Esse fato mostrou que o compósito, fruto desse trabalho, não apresentou toxidez às células de fibroblastos humanos, propiciando um ambiente favorável à fixação e ao desenvolvimento das células. Percebe-se, no entanto, que o crescimento das populações de células, comparando-se as colunas do meio e à esquerda, não foi significativo (cerca de 17%), o que torna inconclusivo se o biomaterial incentiva ou não a proliferação de células humanas.

Com a análise de citotoxicidade conclui-se que as células humanas conseguem viver em um meio contendo o material  $Al_2O_3/ZrO_2$ , o que permite concluir que o compósito possui as características de um biomaterial.

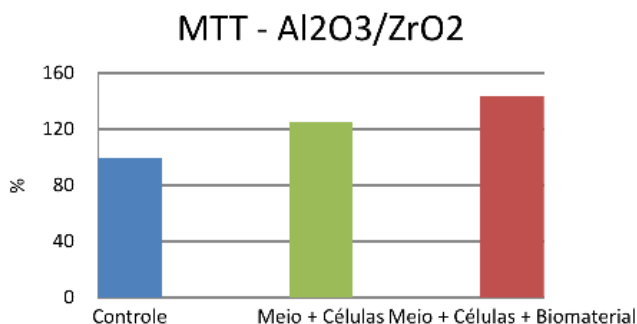


Figura 4: Resultado de citotoxicidade

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelos ensaios e resultados demonstrados ao decorrer deste artigo é possível afirmar que um compósito de Alumina e Zircônia apresenta de forma contundente as características necessárias para a sua utilização como um biomaterial com a função de substituir tecidos ósseos danificados na região craniomaxilofacial.

## REFERÊNCIAS

BERRIDGE, M.V.; TAN, A.N. **Characterization of the cellular reduction of 3- (4,5-dimethylthiazol-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT): subcellular localization, substrate dependence and involvement of mitochondrial electron transport in MU reduction.** Arch. Biochem, v. 303, p. 474–482, 1993.

CALLISTER, W. D. Jr. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de materiais: Uma Abordagem Integrada**. Segunda Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2011. Volume Único.

CHEVALIER, J., “**What future for zirconia as biomaterial?**”, *Biomaterials*, Vol. 27, pp. 535-543, 2006.

CHEN, F.M, LIU, X., “**Advancing Biomaterials of Human Origin for Tissueengineering**”, *Progress in Polymer Science*, Vol. 53, pp. 86-168, 2016.

DA SILVA, J.C. “**ESTUDO COMPARATIVO DE SUPERFÍCIES DE TITÂNIO UTILIZADAS EM IMPLANTES**”. 2006. 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/108.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2017.

ESFAHANI, H., NEMATI, A., SALAH, E., “**Synthesis and characterisation of  $\beta$ -tricalcium phosphate coating on zirconia toughened alumina by biomimetic method**”, *Advances in Applied Ceramics Structural, Functional and Bioceramics* , Vol. 112, pp. 140-145, 2013.

GOMIDE, V. S. **Avaliação do potencial osteogênico de matrizes de vidro bioativo / PVA in vitro e in vivo**. Universidade Federal de Minas Gerais. 2010. Belo Horizonte.

HENCH, Larry L. **An Introduction to Bioceramics**. 2. ed. United States: [s.n.], 2013. 620 p.

KURTZ, S.M., KOCAGÖZ, S., ARNHOLT, C., HUET, R., UENO, M., WALTER, W.L. “**Advances in Zirconia Toughened Alumina Biomaterials for Total Joint Replacement**”, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* , Vol. 31, pp. 107-116, 2014.

LANÇA, André Gustavo Horst. **Estágio atual dos implantes cerâmicos**. 2011. 69 p. Monografia (Especialista em Implantodontia)- Faculdade de Odontologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUBD-956LMZ>>. Acesso em: 31 jun. 2017.

LEE, W.E; RAINFORTH, M. **Ceramic Microstructures: Property control by processing**. 1. ed. [S.I.]: Springer Netherlands, 1994. 590 p.

MAIA, M., KLEIN, E.S., MONJE, T.V., PAGLIOSA, C., “**Reconstrução da Estrutura Facial por Biomateriais – Revisão**”, *Rev. Bras. Cir. Plást.* , Vol. 25, pp. 566-572, 2010.

ORÉFICE, Rodrigo Lambert; PEREIRA, Marivalda de Magalhães; MANSUR, Herman Sander, **Biomateriais: Fundamentos e Aplicações**. 1ª Ed. Rio de Janeiro 2006, 552p.

PANDEY, A.K., PATI, F., MANDAL, D., DHARA, S, BISWAS, K., “**In vitro evaluation of osteoconductivity and cellular response of zirconia and alumina based ceramics**”, *Materials Science and Engineering*, Vol. 33, pp. 3923-3930, 2013.

PICONI, C., MACCAURO, G., “**Zirconia as a ceramic biomaterial**”, *Materials*, Vol. 20, pp. 1-25, 1999.

SARTORI, Thauane Aparecida Inácio da Costa. **Biocerâmicas porosas de alumina e de alumina-zircônia recobertas com fosfatos de cálcio para implantes ósseos**. 2015. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais)- Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74133/tde-17092015-092938/pt-br.php>>. Acesso em: 29 set. 2017.

TURRER, C.L.; FERREIRA, F.P.M. **Biomateriais em cirurgia craniomaxilofacial: princípios básicos e aplicações: revisão de literatura**. *Rev. Bras. Cir. Plast.*, v.23, p.234-239, 2008.

VAN VLACK, Lawrence H. **Princípios de Ciência dos Materiais e Tecnologia dos Materiais**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1984. 568 p. v. 1.



## SUITABILITY OF INTERNAL TANK COATINGS FOR AROMATIC HYDROCARBONS STORAGE

*Data de aceite: 01/03/2021*

*Data de submissão: 08/12/2020*

### **Ulysses Ramos**

Universidade Santa Cecília, UNISANTA

### **Aldo Ramos Santos**

Universidade Santa Cecília, UNISANTA

### **Joaquim Pereira Quintela**

Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras)

### **Carlos Rene Klotz Rabello**

Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras)

### **Cleber Gonçalves Ferreira**

Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras)

### **Emmanuelle Sá Freitas**

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
UNIFESSPA

<http://lattes.cnpq.br/8640583652640865>

<https://orcid.org/0000-0002-6526-3878>

**ABSTRACT:** A variety of epoxy coatings with different characteristics is used inside petroleum product tanks. Taking into consideration the specifications and performance importance of epoxy resins applied in tanks storing benzene, toluene and xylenes, the present study investigated the cause of interaction between coatings and aromatic hydrocarbons (or aromatics), detected by acid wash color test. For the investigation, test specimens with different coating formulations were prepared, in addition to their original formulation, so as to simulate

the contact by means of immersion in aromatics, whereby the color test is done to certify these products. After immersion of painted specimens using a coating formulation containing furfuryl alcohol, the results showed occurrence of acid wash color in the aromatics. Consequently, in order to adjust the epoxy coating and prevent the event of acid wash color in aromatics, the proposed formulation should be free of furfuryl alcohol in its composition.

**KEYWORDS:** Epoxy resin; coating; petroleum products, aromatic hydrocarbons; furfuryl alcohol.

### ADEQUAÇÃO DE REVESTIMENTOS INTERNOS DE TANQUES PARA ARMAZENAMENTO DE HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS

**RESUMO:** Uma variedade de revestimentos de epóxi com características diferentes é usada dentro de tanques de produtos de petróleo. Levando em consideração as especificações e a importância do desempenho das resinas epóxi aplicadas em tanques de armazenamento de benzeno, tolueno e xilenos, o presente estudo investigou a causa da interação entre revestimentos e hidrocarbonetos aromáticos (ou aromáticos), detectada por teste de cor por ácido de lavagem. Para a investigação, foram preparados corpos de prova com diferentes formulações de revestimento, além de sua formulação original, de modo a simular o contato por meio de imersão em aromáticos, sendo feito o teste de cor para certificar esses produtos. Após imersão dos corpos de prova pintados com formulação de revestimento contendo álcool furfúrico, os resultados mostraram a ocorrência



de coloração nos aromáticos. Consequentemente, a fim de ajustar o revestimento epóxi e evitar a ocorrência de cor de lavagem ácida em aromáticos, a formulação proposta deve ser isenta de álcool furfúrico em sua composição.

## 1 | INTRODUCTION

When formulating an epoxy resin for a specific use, it is necessary to know how each of these components contributes to the physical and mechanical performance of a part during and after manufacture. The main reasons for the occurrence of substrate corrosion are usually poor surface preparation or insufficient coating thickness.

Storage tanks for petroleum products used in refineries, distribution bases, land and sea terminals in Brazil use specific epoxy coatings defined in specifications adopted nationwide. One of them is Petrobras Specification N-2913 - Anti-corrosion coatings for carbon steel tanks, such as liquefied gas tanks and storage cylinders (CONTEC, 2015) - which defines how corrosion protection coatings should be applied internally and externally to atmospheric tanks, liquefied gas tanks and cylinders in inland facilities. For aromatic solvents (benzene, toluene and xylenes), Specification N-2913 indicates Specification N-2912 - Novolac Epoxy Paint use - Type II, solvent-free, cure at ambient temperature (CONTEC, 2016) - which establishes the coating quality parameters and their respective limits. Brazilian epoxy paint manufacturers adopt both Specification N-2913 and N-2912.

In the case of epoxy resin use inside storage tanks for chemical products, it is necessary to consider the possibility of interaction between the stored product and the epoxy (Shchukin et al., 2006; He et al., 2008; Baghdachi, 2009; Sørensen et al., 2009; Calle et al., 2010; Hamdy, 2010; Ganesh et al., 2011; Mathiazhagan et al., 2011; Choi et al., 2013; Makhoulf, 2014; Popoola et al., 2014; Ulaeto et al., 2017), from a chemical point of view (reaction between the coating and the stored product), and from a physical point of view (solubilization of some epoxy components or product penetration into its crystalline structure). Thus, taking into account the influence of each component from the epoxy coating and its interaction with aromatic hydrocarbons (benzene, toluene and xylenes) and using specific techniques to investigate the cause of interaction, the present study was carried out in order to adjust the epoxy coating formulation, resulting in experimental data that add significantly to the literature.

## 2 | EXPERIMENTAL

The overall purpose of the present study was to identify the cause of benzene contamination that resulted in the occurrence of off-spec acid wash color during the benzene batch quality certification process. Analyses and evaluations described throughout this chapter were carried out in order to achieve the stated objective.

For proper understanding of the product logistics flow between benzene production at the refinery and its storage at a bulk terminal for maritime loading (shown in Figure 1), the nomenclature adopted for the tanks is given below:

- Tanks D and E: located at the refinery; used for storage, quality certification of the batches produced and benzene logistics flow.
- Tanks A and B: located at the distributor; used for storage and benzene logistics flow.
- Tanks I and II: located at a bulk terminal; used for storage and benzene quality certification prior to shipping.

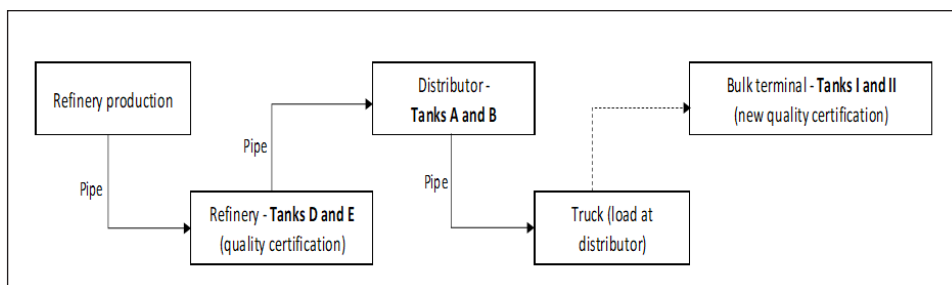


Figure 1. Benzene flow from the refinery to the bulk terminal.

## 2.1 Characterization techniques of benzene contaminants

Acid wash color is one of the parameters used to quality benzene for sale. To determine acid wash color, also used in the quality certification of toluene and xylenes, the ASTM D848 method was used (ASTM, 2014).

Typically, fourteen color standards are used in the acid wash color determination. After the color test, the sample is compared to the standards shown in Figure 2. The product is considered off-spec if it has a color higher than 1+, which means a hue darker than that of standard 1 and lighter than that of standard 2.

One on-spec benzene sample and two off-spec benzene samples were collected into transparent glass bottles of 500 cm<sup>3</sup> for fractional distillation (four volumetric fractions: 30%, 30%, 30% and final 10% v/v) to verify the presence of possible contaminants.

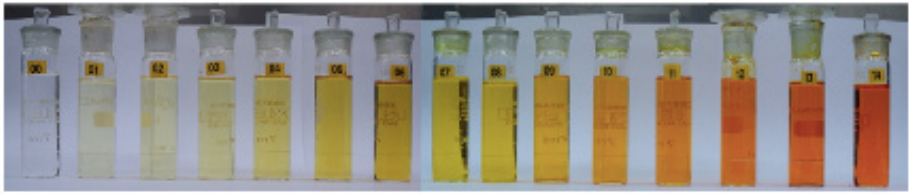


Figure 2. Color standards used to determine acid wash color (ASTM D848).

Finally, a composition evaluation of the two final fractions obtained by off-spec benzene fractional distillation was carried out using gas chromatography coupled with mass spectrometry (Agilent HP-7890 Chromatograph with Agilent Mass Spectrometry Detector MSD-5975C), in accordance with the ASTM D2887-12 method. This was done in the Petrobras Research Center laboratories to allow for the identification and quantification of heavy contaminants in ppm (w/w).

## 2.2 Simulation of interaction between aromatic hydrocarbons and epoxy coatings

Toluene and xylenes were also evaluated due to the need to verify the extent of their possible contamination. Figure 3 presents a flowchart of different epoxy coatings formulations suggested to simulate interactions between the aromatic hydrocarbons and these formulations.

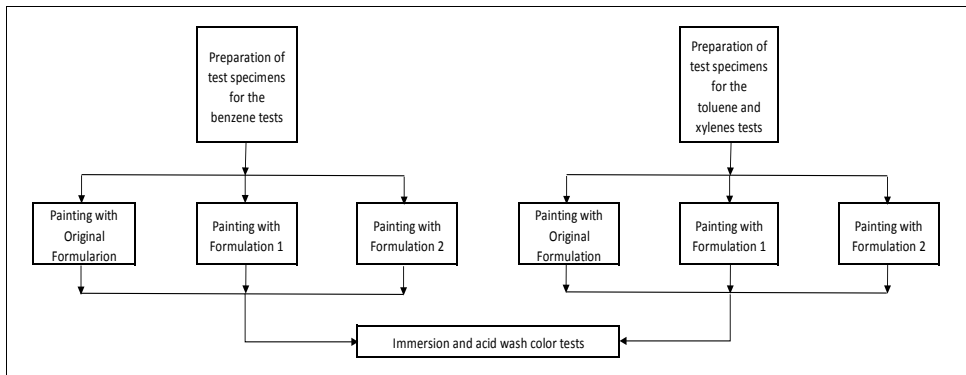


Figure 3. Flowchart containing the simulation steps to identify the possible cause of contamination in aromatic hydrocarbons

As the chemical composition of epoxy coating – applied in Tank A during its maintenance – is an important factor related to the cause of benzene contamination, different epoxy coating compositions were simulated and then tested in standardized test specimens

(TS) as detailed below. The epoxy paints simulated and tested in this study were made up of COMPONENTS A (resin) and B (curing agent), used as a hardener, described in Table 1.

COMPONENT B - FORMULATION	Epoxy paint Original Formulation (40% w/w of furfuryl alcohol )	Epoxy paint Formulation 1 (10% w/w of furfuryl alcohol )	Epoxy paint Formulation 2 (0% w/w of furfuryl alcohol )
furfuryl alcohol	≥ 25% weight	≤ 10% weight	free
methyleneoxide, polymer with benzeamine, hydrogenated	≥ 25% weight	free	< 20% weight
methylenebiscyclohexanamine, 4, 4	≥ 10% weight	≥ 25% weight	> 80% weight
benzoic acid, 2 hydroxy- salicylic acid	≥ 5% weight	free	free

Table 1. Composition of curing agents in the coatings used in this study.

Data source: Air Products site

TS were made from AISI 1010 steel plates measuring 2.0 cm X 2.0 cm X 0.1 cm and painted with the Original Formulation epoxy coating (40% w/w of furfuryl alcohol in COMPONENT B), as shown in Figure 4.



Figure 4. Test Specimens, Carbon steel AISI 1010 painted with epoxy coating.

*a) Preparation of samples painted with:* Original Formulation; Formulation 1 (10% w/w furfuryl alcohol in COMPONENT B) and Formulation 2, then without furfuryl alcohol in the composition of COMPONENT B, for immersion in samples containing 200 cm<sup>3</sup> of benzene ACS reagent. Seven days after such samples immersions, benzene color was determined.

*b) Preparation of TS painted with Original Formulation, Formulations 1 and 2 and performance of color test in toluene and xylenes:* Taking into account the possibility of toluene and xylenes contamination, the simulation of formulated paints was extended to these products with: Original Formulation, Formulation 1 and Formulation 2 for immersion in samples containing 200 cm<sup>3</sup> of toluene and xylenes, both produced in an oil refinery. Seven days after such samples immersions and test color was determined.

### 3 I RESULTS AND DISCUSSION

Epoxy coatings are porous and allow for the penetration of products. In internally-coated tanks, stored products can be absorbed and desorbed and might remain in the coating structure. The thickness, temperature and surface cleaning of epoxy films affect the absorption and desorption capacity of said products. If the tank is multi-purpose, these processes can cause problems, resulting from the contact between the product that has penetrated into and remained the epoxy film and the newly-stored product. The coated tank, object of this study, had been used for benzene in a dedicated manner (i.e. no other product had been stored prior to the color occurrence), which eliminates the possibility cited for multi-purpose tanks.

Although specifications of the Novolac Type II epoxy coating were met, that was not sufficient to prevent product contamination. In the first analysis, one could assume that migration of furfuryl alcohol to benzene would have been caused by an inappropriate (off-spec) epoxy coating, which did not occur. In fact, the set of assays which composes the epoxy coating specification were not designed to identify the occurrence of color in aromatic hydrocarbons.

During the developmental stages of this study, several techniques meeting the Petrobras quality control requirements were used in order to identify the cause of contamination of benzene stored in a tank. Such tank, made of carbon steel (ASTM-A-283-GR C) and internally coated with an epoxy paint, had hitherto been used without any detection of interaction between the paint and the stored product.

In this study, acid wash color presence was identified in the Tank I batch (1,500 m<sup>3</sup>) after the new benzene batches had been prepared in Tanks I and II for export (bulk terminal).

#### 3.1 Characterization and contaminant identification in benzene samples

Taking into consideration that results showed the benzene in samples taken from Tank I had been contaminated, further information about the possible causes of contamination was necessary. Using mass spectrometry, the 10% v/v cuts from samples of Tank I (off-spec color) exhibited unexpected additional compounds, one of which was furfuryl alcohol with a concentration of 10 ppm.

Upon consultation of epoxy coating types, the presence of furfuryl alcohol in the coating used in Tank A was deemed possible. This tank had returned from maintenance and gone into operation. Subsequently, the presence of furfuryl alcohol in the epoxy coating formulation was confirmed by the manufacturer. Such coating had been used in the maintenance of Tank A, manufactured in compliance with the Petrobras Specification N-2912. Epoxy paints consist of COMPONENT A (resin) and COMPONENT B (curing agent) – furfuryl alcohol was present in COMPONENT B.

The study indicated the solubilization of furfuryl alcohol in benzene; the alcohol had

been used in the Original Formulation in Tank A. Such solubilization occurred more intensely only in the first batches of benzene coming from the refinery and pumped into this tank. This can be explained by the fact that subsequent batches from the refinery, stored in Tank A, did not exhibit solubilization. This means that the benzene in the first batches from the refinery stored in Tank A had extracted furfuryl alcohol from the coating surface. Thus, contamination of benzene occurred in Tank I (bulk terminal), which was revealed by color test.

### **3.2 Simulation of aromatic hydrocarbons contamination by interaction with epoxy coatings**

In order to confirm the interaction between furfuryl alcohol and benzene, TS were prepared and painted with different formulations of epoxy: Original Formulation, Formulation 1, and Formulation 2. The concentration of furfuryl alcohol in COMPONENT B was designed for these formulations, which were subsequently immersed in aromatic hydrocarbons.

*a) Immersion of TS painted with Original Formulation in benzene:* Original Formulation is classified as a Novolac phenolic epoxy. This type of classification allows for a wide range of formulations with high resistance to chemicals, solvents, heat, corrosion and abrasion. However, those formulations are slowly air-cured, are relatively brittle and exhibit some loss of flexibility (THE SHERWIN-WILLIAMS COMPANY & MARINE COATINGS, 2008). The Masterbond company (Michaels, 2013) has an exclusive database on long-term exposure of epoxy to chemicals, including organic products, inorganic acids, alcohols, chlorinated compounds, hydrocarbons, and solvents.

Amongst the frequently used coatings, there are organic ones, a category to which Original Formulation belongs. Preparation of both substrate and primer, and the finish are factors to be observed in the application of organic coatings. If an appropriate evaluation of such factors is not done, problems will definitely occur.

To test Original Formulation (40% w/w of furfuryl alcohol in COMPONENT B), one TS was cured at ambient temperature and immersed in benzene ACS reagent (colorless) in order to identify the color presence. Color test was performed on a sample of benzene ACS reagent, which showed no color, Figure 5a. After immersion of TS painted with the Original Formulation in another sample, it exhibited color and the result proved off-spec (> 1+), as shown in Figure 5b.

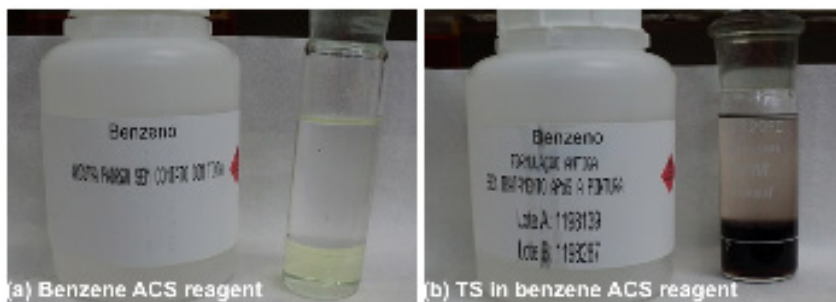


Figure 5. (a) Color absence in benzene ACS reagent and (b) TS painted with Original Formulation, immersed in benzene; off-spec result ( $> 1+$ )

*b) Immersion of TS painted with Formulation 1 in benzene:* Formulation 1 (10% w/w of furfuryl alcohol in COMPONENT B) and was immersed in benzene ACS reagent. Again, it exhibited color and result proved off-spec (Figure 6).



Figure 6. TS painted with Formulation 1, immersed in benzene; off-spec result ( $> 1+$ )

*c) Immersion of TS painted with Formulation 2 in benzene:* Formulation 2, free of furfuryl alcohol. TS remained immersed for seven days (flasks A, B, C, D, and E) and all results proved on-spec ( $< 1+$ ), as shown in Figure 7. The benzene exhibited a slight color change (orange), but was considered on-spec. The results of acid wash color were bottles A, B and D = 0+ (X) and bottles C and E = 1 (X). Note that X represents a color hue different from that of standard 00, but lighter than that of standard 01.



Figure 7. Samples of benzene ACS reagent and benzene after TS immersion (A to E), painted with Formulation 2.

As can be seen, the cause of the contamination was directly related to the interaction between benzene and the epoxy paint used in the internal coating of Tank A, due to a chemical compound (furfuryl alcohol) used in the production of the curing agent corresponding to COMPONENT B.

d) *Benzene samples containing furfuryl alcohol*: One sample contained a concentration of 10 ppm (w/w) and 50 ppm (w/w) of furfuryl alcohol. The color results shown in Figure 8 demonstrate color occurrence in the benzene samples exposed to furfuryl alcohol. The sample with the higher concentration of furfuryl alcohol (50 ppm – w/w) showed a darker hue. However, both samples were classified as off-spec in color test (> 1+). Again, benzene containing furfuryl alcohol proved to be off-spec.

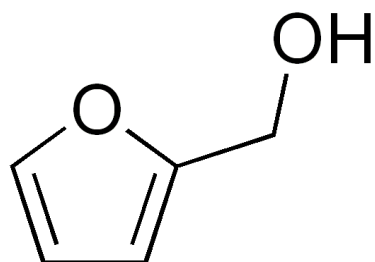
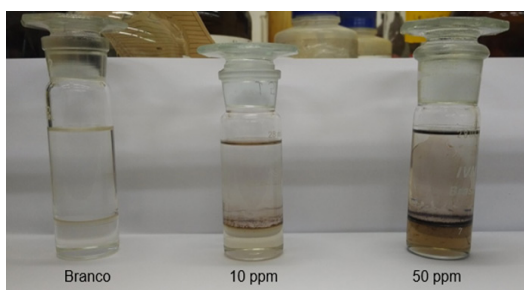


Figure 8. Acid wash color in benzene samples prepared with furfuryl alcohol

e) *Immersion of TS painted with Original Formulation, Formulation 1 and Formulation 2 in toluene and xylenes* : TS were prepared with Original Formulation, Formulation 1 and



Formulation 2 for toluene and xylenes the results can be seen in Figure 9. The results obtained were:

- samples 1 and 4 (Original Formulation): off-spec color (> 1+)
- samples 2 and 5 (Formulation 1): color 0 (X), on-spec (< 1+)
- samples 3 and 6 (Formulation 2): color 0 (X), on-spec (< 1+)

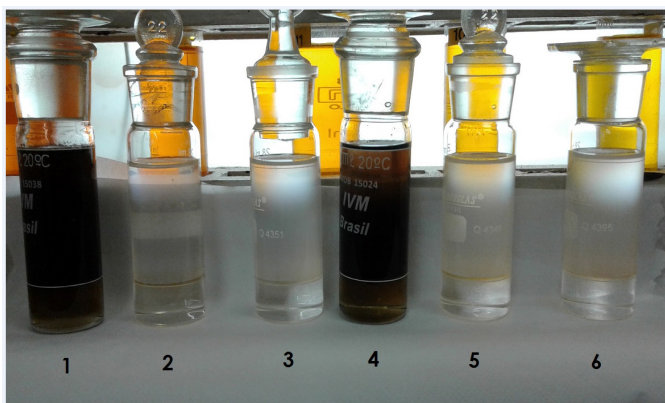


Figure 9. - Color test in TS immersed in toluene (1, 2, 3) and xylenes (4, 5, 6).

Note that X represents a color hue different from that of 00 standard but lighter than that of standard 01.

The same methodology used for benzene was applied to identify the presence of color in toluene and xylenes. Color was found only when there was a concentration of 40% w/w of furfuryl alcohol in COMPONENT B corresponding to the Original Formulation.

Taking into consideration that the solvency power of toluene and xylenes was not sufficient to solubilize the furfuryl alcohol with a concentration of 10% w/w (COMPONENT B) in Formulation 1, no color was detected (Figure 9).

These results contribute a significant range of information about color occurrence to the literature. Thus, corrective actions can be taken to ensure that the choice of internal tank coatings are appropriate and to prevent possible problems. The dissemination of these findings will contribute to various companies involved in the production of aromatic hydrocarbons and of epoxy coatings.

## 4 | CONCLUSIONS

The following conclusions can be drawn from this experimental study:

- Contamination of benzene proved to have occurred in the logistics flow interval

between both Tanks D and E and Tanks I and II, with off-spec benzene in Tank I.

- During characterization of off-spec benzene by means of fractional distillation and mass spectrometry, the presence of unexpected additional compounds, such as furfuryl alcohol with a concentration of 10 ppm (w/w), was found in the product.
- Presence of furfuryl alcohol was an indication of contamination of benzene. Three epoxy coatings were then used to simulate different concentrations of such alcohol. In the tests, two formulations (Original Formulation and Formulation 1) showed interference of furfuryl alcohol, with occurrence of acid wash color. For Formulation 2, the results were on-spec. Hence, Formulation 2 was approved for use upon test results prescribed by Petrobras Specification N-2912.
- The methodology used for benzene was equally applied to identify the presence of color in toluene and xylenes.

## CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare that they have no conflict of interest.

## ACKNOWLEDGMENT

The authors gratefully acknowledge the financial support provided by CNPq - National Council for Scientific and Technological Development, Brazil (grants 306350/2017-3).

## REFERENCES

ASTM (2014). D848 Standard Test Method for Acid Wash Color of Industrial Aromatic Hydrocarbons. West Conshohocken, PA/USA: Copyright ©ASTM International.

Baghdachi, J. (2009). Smart coatings, in: T. Provder, J. Baghdachi (Eds.), *Smart Coatings II*, vol. 1002, ACS Symposium Series, American Chemical Society, Washington DC, <http://dx.doi.org/10.1021/bk-2009-1002.ch001> (Ch. 1).

Calle, L.M., Hintze, P.E., Li, W., Buhrow, J.W. (2010). Smart coatings for autonomous corrosion detection and control, AIAA SPACE Conference&Exposition 8877.

Choi, H., Kim, K.Y., Park, J.M. (2013). Encapsulation of aliphatic amines into nanoparticles for self-healing corrosion protection of steel sheets, *Prog. Org. Coat.* 76 (10) 1316–1324.

CONTEC (2015). Norma Petrobras N-2913 Revestimentos Anticorrosivos para Tanque, Esfera e Cilindro de Armazenamento. Rio de Janeiro, Brasil, 7p.

CONTEC (2016). Norma Petrobras N-2912 Tinta Epóxi “Novolac” (tinta tipo II). Rio de Janeiro, Brasil, 6p.

Ganesh, V.A., Raut, H.K., Nair, A.S., Ramakrishna, S. (2011). A review on self-cleaning coatings, *J. Mater. Chem.* 21 (41) 16304–16322.

Hamdy, A. (2010). Corrosion protection performance via nano-coatings technologies, *Recent Patents Mater. Sci.* 3 (3) 258–267.

He, X.D., Shi, X.M. (2008). Self-repairing coating for corrosion protection of aluminium alloys: a proof-of-concept using cagelike smart particles, *Transportation Research Board 87<sup>th</sup> Annual Meeting* (No. 08-0187), [http://www.westerntransportationinstitute.org/documents/reports/4w1487\\_trb08.pdf](http://www.westerntransportationinstitute.org/documents/reports/4w1487_trb08.pdf).

Makhlouf, A.S.H. (2014). Techniques for synthesizing and applying smart coatings for material protection, in: A.S.H. Makhlouf (Ed.), *Handbook of Smart Coatings for Materials Protection*, Woodhead Publishing Limited, Oxford, United Kingdom, p. 56–74.

Mathiazhagan, A., Joseph, R. (2011). Nanotechnology-A new prospective in organic coating, *Int. J. Chem. Eng. Appl.* 2 (4) 225–237.

Michaels, R. (2013). An Interview with Robert Michaels, Vice President of Technical Sales at Masterbond.

Popoola, A., Olorunniwo, O.E., Ige, O.O. (2014). Corrosion resistance through the application of anti-corrosion coatings, in: M. Aliofkhaezai (Ed.), *Developments in Corrosion Protection*, InTech, p. 241–270.

Shchukin, D.G., Zheludkevich, M., Yasakau, K., Lamaka, S., Ferreira, M.G.S., Moehwald, H. (2006). Layer-by-layer assembled nanocontainers for self-healing corrosion protection, *Adv. Mater.* 18 (13) 1672–1678.

Sørensen, P.A., Kiil, S., Dam-Johansen, K. (2009). C.E. weinell anticorrosive coatings: a review, *J. Coat. Technol. Res.* 6 (2) 135–176.

The Sherwin-Williams Company & Marine Coatings (2008). *Epoxy Coatings Guide*.

Ulaeto, S.B., Rajana, R., Pancrecios, J.K. et al. (2017). Developments in smart anticorrosive coatings with multifunctional characteristics, *Progress in Organic Coatings*, v. 111, p 294-314.

## DISEÑO DE UN FALDÓN ESTRUCTURAL CIRCULAR DE APOYO PARA UN SILO METÁLICO CON CAPACIDAD DE ALMACENAR 300 M<sup>3</sup> DE CLINKER

*Data de aceite: 01/03/2021*

**Luis Orlando Cotaquispe Zevallos**

Pontificia Universidad Católica del Perú

**RESUMEN:** La industria de la construcción es un rubro económico importante en nuestra región y dentro de ella la producción del cemento resulta fundamental. El presente trabajo desarrolló el tema del almacenamiento del Clinker dentro del proceso productivo del cemento, esto dio como resultado el diseño de un Silo de 300 m<sup>3</sup> de capacidad (ver tabla adjunta la data del proyecto). El silo metálico deberá cumplir con la función operativa de almacenamiento y su fabricación es según la norma DIN 1055. Compuesto por su cuerpo cilíndrico + cono, el Faldón estructural circular y las columnas de apoyo. Por lo extenso del proyecto solo se ha considerado para esta presentación el diseño del Faldón estructural circular, el cual conecta de manera segura el Silo con las columnas estructurales de apoyo (ver figura adjunta). Finalmente es importante señalar que se ha utilizado para el diseño del proyecto global la modelación por FEM como herramienta de verificación.

**PALABRAS CLAVES:** Diseño, estructuras, flexión, rigidez y pandeo

DESIGN OF A CIRCULAR STRUCTURAL SUPPORT SKIRT FOR A METAL SILO WITH THE CAPACITY TO STORE 300 M<sup>3</sup> OF CLINKER

**ABSTRACT:** The construction industry is an

important economic item in our region and within it the production of cement is fundamental. The present work developed the issue of Clinker storage within the cement production process, this resulted in the design of a Silo of 300 m<sup>3</sup> capacity (see the attached table the data of the project). The metal silo must comply with the operational function of storage and its manufacture is according to DIN 1055. Composed of its cylindrical body + cone, the circular structural skirt and the support columns. Due to the extensiveness of the project, only the design of the circular structural skirt has been considered for this presentation, which safely connects the Silo with the supporting structural columns (see attached figure). Finally, it is important to note that modeling by FEM has been used for the design of the global project as a verification tool.

**KEYWORDS:** Design, structures, bending, rigidity and buckling

### 1 | INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tuvo una lista de exigencias con algunos principios fijos como el transporte del equipo a la obra, se debería adecuar la forma constructiva a los equipos colaterales que tenía que soportar como faja transportadora, ventilador industrial, grupo de filtros, piso de inspección y un techo en la zona de alimentación. El análisis debería ser en base a la Norma DIN 1055 para Silos [1] en general y se exigió que finalmente se modelara con algún software calificado (ANSYS R19.1) [2] para comparar los resultados contra la norma



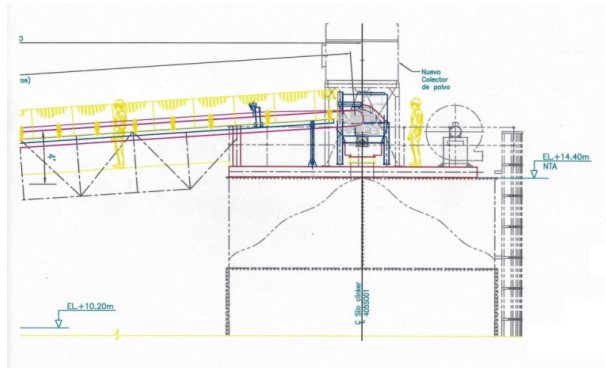


Figura 2. Elevación del silo metálico, equipos y apoyos en el techo.

Fuente: Elaboración propia

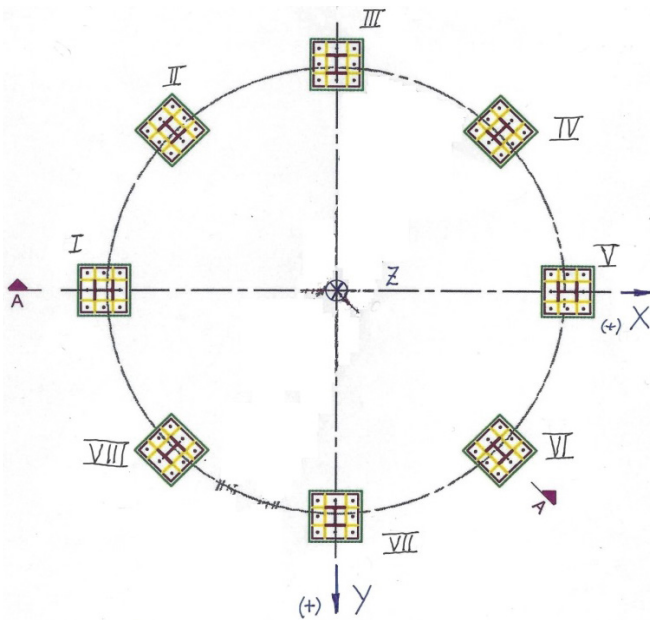


Figura 3. Vista de planta - bases para los apoyos del silo.

Fuente: Elaboración propia

Las dimensiones generales, la forma constructiva y la información del producto almacenado se presentan en la figura 4 y sus valores están señalados en la tabla 1

Silo $\phi$ 7 m	Volumen (m <sup>3</sup> )	Diámetro (m)	L cilindro (m)	Angulo "θ" de cono (°)
Clinker	300	7.0	7.6	55

Tabla 1. Data utilizada para el diseño de los silos.

Fuente: Elaboración propia

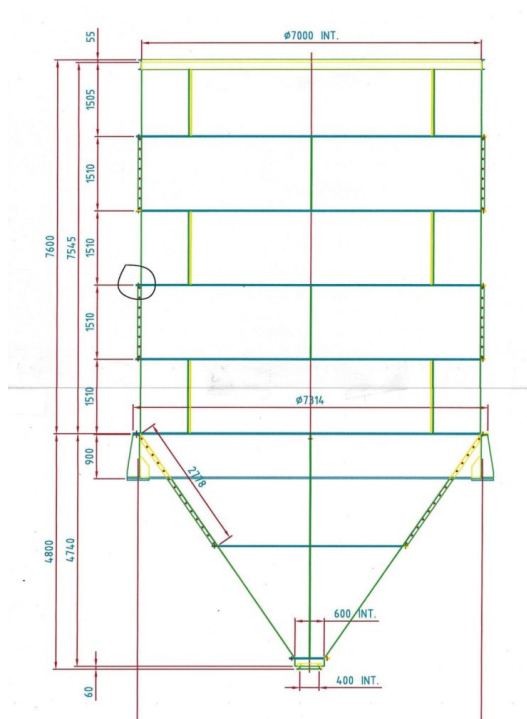


Figura 4. Dimensiones y formas constructivas del silo para Clinker.

Fuente: Elaboración propia

### 3 I DISEÑO DEL SILO SEGÚN NORMA DIN 1055

Para el diseño de los silos es importante conocer la tendencia de variables como la presión ( $p$ ) en la zona de interés, la resistencia mecánica a la cizalla del material ( $f$ ) y la tensión máxima de cizalla ( $s$ ), para que no aparezcan la formación de bóvedas que impidan el flujo libre en la boca de descarga se debe cumplir que  $s > f$ ; la tendencia de estas variables se presenta en la figura 5 en donde se observa la zona crítica en el cambio de geometría del silo. Finalmente las cargas generales del proyecto para calcular el silo, estructuras soportes y columnas de apoyo se presentan en la tabla 2

Silo metálico $\phi$ 7 m	Peso carga (Ton)	Peso silo (Ton)	Peso equipos + accesorios (Ton)	$P_{TOTAL}$ (Ton)	$P_{TOTAL}$ SISMICO (Ton)
Figura 6	480.0	35.0	35.0	550.0	630.0

Tabla 2. Data de cargas actuantes para el diseño final del silo y sus apoyos.

Fuente: Elaboración propia

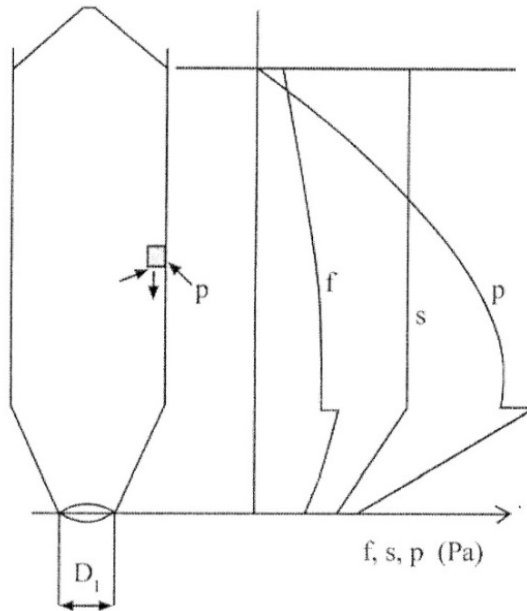


Figura 5. Distribución de la presión (p) [1]

#### 4 | DISEÑO Y CÁLCULO DEL FALDÓN CIRCULAR DE APOYO DEL SILO METÁLICO

En las figuras 6 y 7 se muestran las formas constructivas generales del Silo y del Faldón o fuste circular, además en la sección B se muestra la geometría del alma del Faldón circular (ver figura 8). El sistema de cargas actuantes es combinado debido a que en su brida superior recibe a la brida del cono y a la brida inferior del anillo 5, es decir el peso completo del silo y equipos. Además, por su brida inferior se apoya a las columnas de manera principal, las columnas están unidas de forma secundaria al polígono rigidizador (ver figura 7)



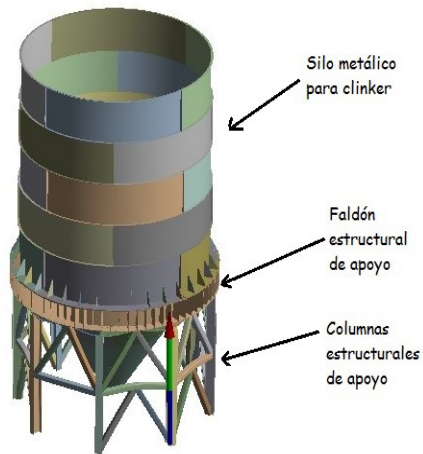


Figura 6. Diseño del Silo metálico desarmable.

Fuente: Elaboración propia

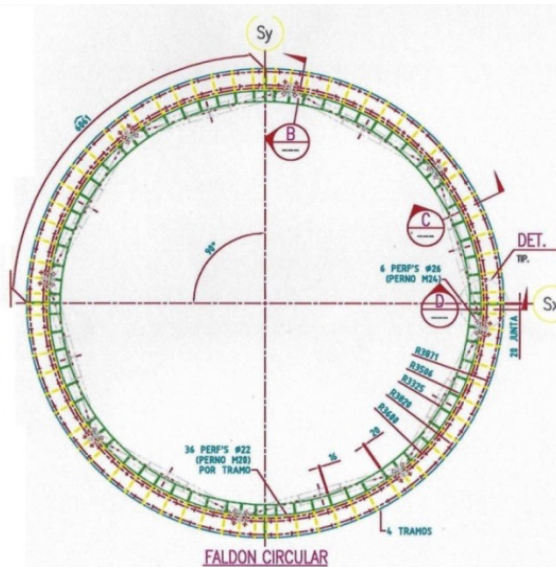


Figura 7. Vista de planta del Faldón (Fuste) circular.

Fuente: Elaboración propia

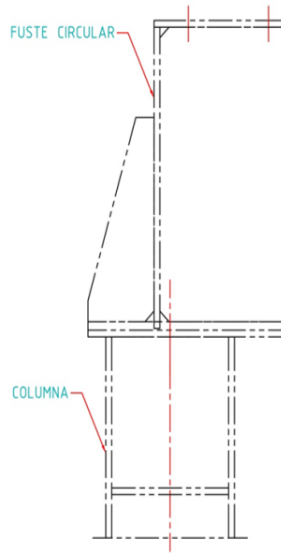


Figura 8. Alma o sección del Faldón (Fuste) circular.

Fuente: Elaboración propia

Las dimensiones del alma del faldón circular se muestran en la figura 9; es importante señalar que la carga total distribuida sobre el faldón circular de 7 metros de diámetro interior es de 550.3 ton. Para este análisis no se considera apoyado el silo al polígono rigidizador, para la modelación tampoco se consideró al silo apoyado al polígono. Además si se consideran las cartelas interiores y exteriores de refuerzo para la modelación.

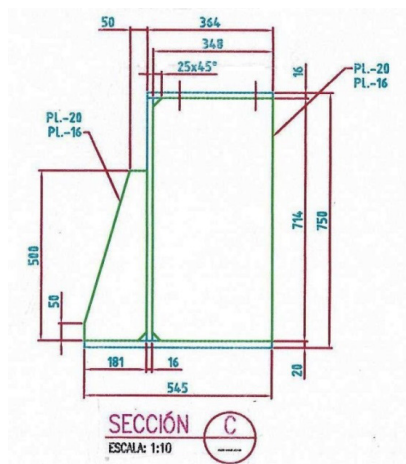


Figura 9. Sección dimensionada del Faldón circular.

Fuente: Elaboración propia

## 4.1 Cálculo de la sección resistente crítica para carga combinada

Para la valoración previa al análisis de esfuerzo - deformación; se tiene un sistema de cargas combinadas el cual será resuelto por la teoría de Von Mises (VM) [3] y cuyos resultados se presentan en tabla 3;

Faldón Circular	Zona crítica	$\tau_{cr}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_f$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_e$ (kg/mm <sup>2</sup> )	FS
Sección	central	6.52	3.99	11.98	2.09

Tabla 3.

Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Cálculo de la sección crítica del Faldón o Fuste por rigidez

Para evaluar la deformación estructural del Faldón circular se analizará como un sistema de carga distribuida sin considerar las cartelas de refuerzo interior y exterior, para lo cual se aplicarán las expresiones presentada en la figura 10

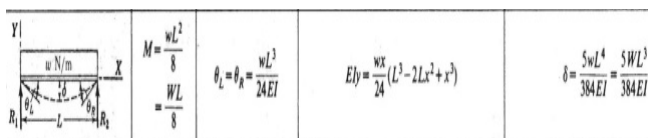


Figura 10. Análisis de la deformación crítica [4]

Finalmente, en la tabla 4 se presentan los resultados del análisis por rigidez para un modelo con todos sus elementos rigidizadores. Luego se compara con la recomendación de la ASTM [4] acerca del tema de la rigidez crítica para construcciones estructurales y cuyo valor de comparación es  $R_{ASTM} = 0.001$

Faldón Circular	L (mm)	W (kg/mm)	$\delta$ (mm)	$R_T = \frac{\delta_T}{L}$	$R_T \leq R_{ASTM}$
Sección	2750	25.024	0.341	0.00012	< 0.001

Tabla 4.

Fuente: Elaboración propia

Es importante indicar que en la modelación trabajada como herramienta de comparación y que se muestra en el acápite 5, los resultados señalan que el faldón circular

tiene una alta rigidez, lo cual garantiza un adecuado funcionamiento.

### 4.3 Cálculo de las uniones con tornillos no pretensados

Es importante señalar que los detalles variados de las uniones atornilladas dependen definitivamente de la disposición constructiva que se adopte al momento de diseñar la unión, este diseño está basado en la norma internacional de cálculo VDI 2230 [5] recomendada para tornillos en estructuras metálicas. También es necesario señalar que, dependiendo de la sollicitación de la unión, se tendrá una unión articulada (transmite el 30% del cortante) o una unión rígida (transmite el 50% del momento resistente), en este caso se asumirá una carga de tracción y cortante en simultaneo debido a que los tornillos a compresión no se calculan. Apoyados además en las normas del AISC 6ta. Edición [6] aplicaremos la siguiente condición adicional (ver ecuación 1)

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (1)$$

Siendo:

- $F_{v,Ed}$  y  $F_{t,Ed}$ , las cargas que solicitan al tornillo
- $F_{v,Rd}$  y  $F_{t,Rd}$ , las resistencias a cortante y tracción

Para el análisis realizado se considera un estudio y cálculo para una unión rígida a tracción y cortante (ver figura 11); donde  $t_p = 16$  mm solo para las placas de amarre.

Aquí se observa que el esfuerzo cortante se reparte en todos los tornillos, ahora bien, el momento flector aplicado solicita una zona a compresión y otra a tracción, de aquí solo se evalúa los tornillos solicitados a tracción.

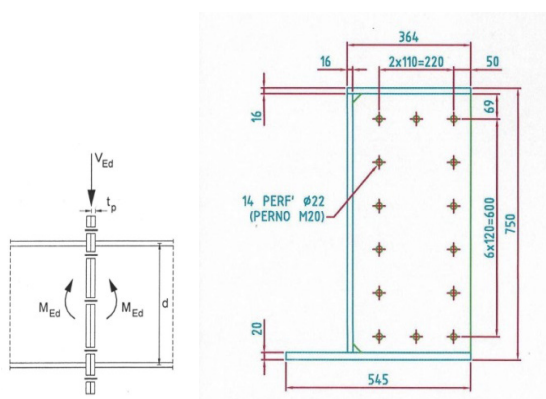


Figura 11. Prolongación rígida con chapa frontal atornillada del detalle D.

Fuente: Elaboración propia

Luego los tornillos críticos serán los que están trabajando en simultáneo al corte y la tracción (ver figuras 11 y 12). Lo mostrado en el detalle de estas figuras nos señala que se tiene que plantear para los elementos estructurales una unión atornillada soportando solo corte y para los elementos principales como la unión columna + viga, soportando tracción y corte como se indicara en el siguiente acápite 5.

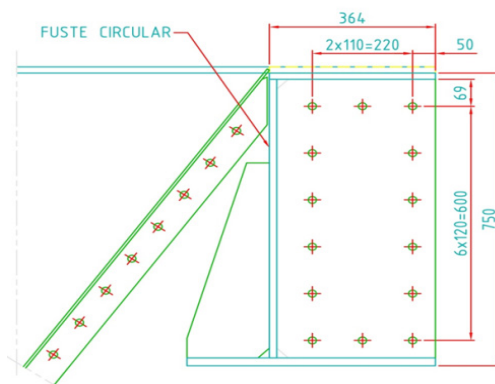


Figura 12. Detalle para las uniones a tope del Fuste o Faldón circular.

Fuente: Elaboración propia

La carga actuante por tracción debido al momento es  $F_{t,Ed} = \frac{P_{MF}}{7}$ ; del dato del análisis de la carga del proyecto se tiene que para cada brida  $P_{UF} = 1375.8$  KN, entonces  $F_{t,Ed} = 196.54$  kN. Luego se estima un tornillo de M24; para material acero 8.8 para que absorba esta carga.

Para la carga por corte actuante es  $F_{v,Ed} = \frac{P_{CF}}{14}$ ; luego  $F_{v,Ed} = 98.3$  kN. Aquí bastaría con un M20 de material 8.8, pero no se considera así de directo por el tipo de carga actuante, entonces se recomienda un tornillo M20, con material de acero 8.8. Se debe hacer la comprobación adicional de la ecuación (1), con los datos obtenidos

$$\frac{98.3}{289.28} + \frac{196.54}{1.4 \cdot 203.328} \leq 1.0$$

$$0.32 + 0.64 \leq 1.0$$

$$0.96 \leq 1.0$$

Habiendo terminado todas las comprobaciones se pueden dibujar los detalles de todas las uniones con el criterio de uniformizar las uniones, acotando las distancias a bordes y distancia entre agujeros, diámetro del agujero y tipo de acero de los tornillos M20 ( $\frac{3}{4}'' \phi - UNC$ ) - material acero 8.8 (A325), cuya longitud dependerá del espesor de las placas a unir y el espesor de la tuerca con calidad 8.



Línea	Tipo de Cordón	Clase de esfuerzo	Clase de acero			
			St 37		St 52	
			Caso de carga		Caso de carga	
			H	HZ	H	HZ
1	Cordón a tope comprobado por rayos al 100%	Tracción axial y tracción con flexión.	160	160	240	240
2		Comprensión axial y comprensión con flexión	140	160	210	240
3		Cortadura	90	105	135	155
4	Cordón a tope no comprobado por rayos x	tracción, comprensión axial y con flexión	140	160	210	240
5		Cortadura	90	105	135	155
6		Tracción axial y tracción con flexión	110	130	170	190
7	Cordón a tope no comprobado por rayos	Comprensión axial y comprensión con flexión	140	160	210	240
8		Cortadura	90	105	135	155
9		Tracción, comprensión, deslizamiento	90	105	135	155
10	Cordón en ángulo en empalme de viga resistente a flexión	Esfuerzo principal	110	130	170	190
11		Cortadura	90	105	135	155

Tabla 6. Esfuerzos admisibles  $\sigma_{Adm}$  y  $\tau_{Adm}$  ( $N/mm^2$ ) para uniones soldadas estructurales DIN 4100 [7]

Ahora se determinan los valores de cada esfuerzo actuante en función de los datos presentados, luego el cálculo según el estado de esfuerzos combinados por lo que será necesario evaluar dicho estado a través de su expresión de esfuerzo equivalente (2);

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{fs} + \sqrt{\sigma_{fs}^2 + 4\tau_{cs}^2} \right\} \quad (2)$$

En el caso de la flexión [ $M_f = 13.78 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ]; se tendrá lo siguiente:  $\sigma_{fs} = \frac{M_f \cdot e}{I}$

Donde  $I = I_u \cdot a$

$$I_u = \frac{d^3}{6};$$

Para la geometría de la unión (fila 2, de tabla 5)

Reemplazando se tiene  $\sigma_{fs} = \frac{92.53}{a}$

Valorando el cordón de soldadura se tiene lo siguiente:

- $a = 6 \text{ mm} \rightarrow \sigma_{fs} = 15.5 \text{ N/mm}^2$
- $a = 10 \text{ mm} \rightarrow \sigma_{fs} = 9.27 \text{ N/mm}^2$

En el caso del corte [ $V = 68.79 \text{ kN}$ ]; se tendrá lo siguiente:  $\tau_{cs} = \frac{V}{2 \cdot a \cdot L}$

Reemplazando se tiene  $\tau_{cs} = \frac{48.18}{a}$

Valorando el cordón de soldadura se tiene lo siguiente:

$$a = 6 \text{ mm} \rightarrow \tau_{fs} = 8.03 \text{ N/mm}^2$$

Finalmente al reemplazar el esfuerzo equivalente para  $a = 6 \text{ mm}$  será:

$$\sigma_{fs} = 37.82 \text{ N/mm}^2$$

Verificando si resiste, se compara con los valores de la tabla 6 para  $\sigma_{sAdm}$ ; (Ver línea 10)

Entonces se tiene;  $\sigma_{eq} \leq \sigma_{s\text{Adm}}$

$$37.82 \frac{N}{mm^2} \leq 130 \frac{N}{mm^2}$$

#### 4.5 Modelación por Elementos Finitos. FEM

Para el análisis del Silo mediante el FEM (ver figura 14) se ha considerado a todos los contactos entre los componentes del tipo **Bonded**, es decir, se considera como si la unión fuese continua entre los cuerpos. Esto ha servido para evaluar a las uniones atornilladas y soldadas del silo de forma “tipo campo completo”. Para ello, se simuló una carga de 630 Ton (dato de tabla 2) repartida en el cuerpo del silo según plano de funcionamiento. El software utilizado fue el ANSYS R19.1 [2].

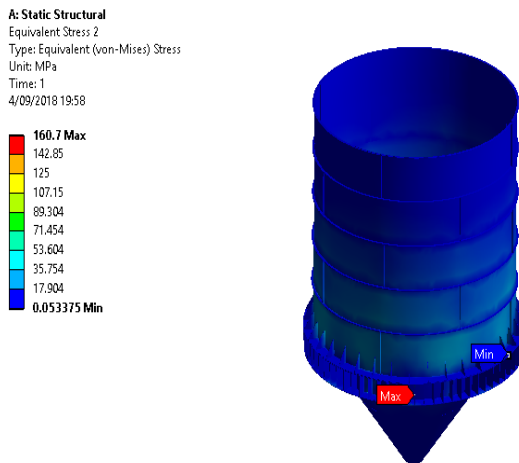


Figura 14. Estado de esfuerzos en la zona crítica del Silo metálico.

Fuente: Elaboración propia

La evaluación de esfuerzos señala la zona crítica en la plancha del primer nivel (anillo 5) como lo indicaba la norma DIN 1055 [1] en la figura 5. Debido a que se desea conocer las cargas en las bridas de las planchas que conforman los niveles del silo, se presentan los esfuerzos en este componente ver la figura 15.



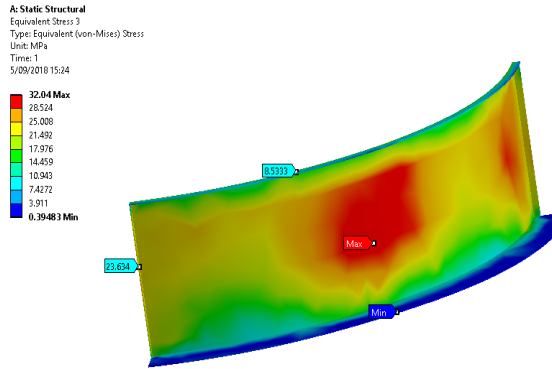


Figura 15. Estado de esfuerzos en la zona de unión del anillo 5 con el Faldón o Fuste.

Fuente: Elaboración propia

Además se analizó las reacciones interiores en la plancha del primer nivel (anillo 5); como se observa en la figura 16

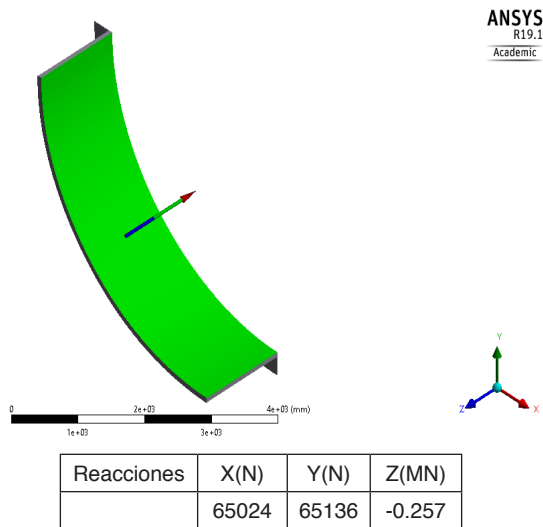


Figura 16. Determinar las reacciones interiores en el anillo 5 del Silo metálico.

Fuente: Elaboración propia

Los esfuerzos en la brida superior (que une el quinto con el cuarto anillo) son de **8.53 MPa** aproximadamente de igual forma, los esfuerzos en las bridas laterales son de **21.63 MPa** aproximadamente, luego en el borde inferior se registra un esfuerzo de **0.4 MPa**, que servirá para confirmar la resistencia del fuste. Finalmente se presentan las reacciones en la

columna crítica (ver figura 17), En este caso, se analiza la estructura completa (silo y base) y se encuentra que la normal es de **0.74 MN**, equivalente a **75.68 Ton** aproximadamente en la columna VIII.

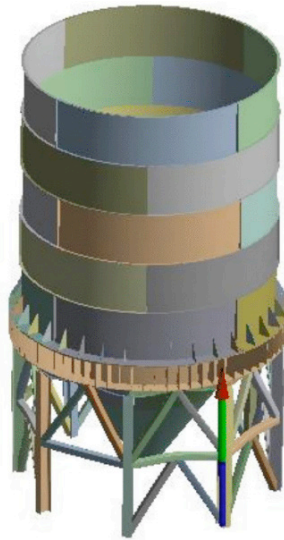
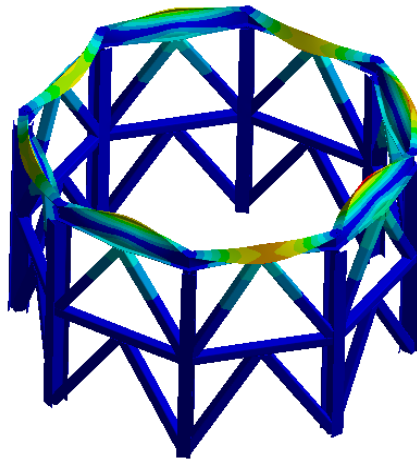


Figura 17. Determinar las reacciones y la reacción crítica en la columna de apoyo



Ubicación	Perfil
Columnas	W 14"x 61
Arriostres	□ 8"x8"
Octógono	W 14"x 38

Figura 18. Determinar el pandeo estructural de las columnas.

Fuente; Elaboración propia

## 5 I CONCLUSIONES

- Se ha analizado y evaluado de manera analítica el presente proyecto apoyado en la norma DIN 1055 para Silos; además se analizó el efecto de las formas constructivas, con la finalidad de contrastar los cálculos y detalles con la modelación por elementos finitos realizada en el acápite 4.5.
- Las diferencias de resultados en cargas van del 3% al 7%, lo cual confirma la confiabilidad entre el análisis y el trabajo experimental realizado de los especialistas en los diversos temas.
- Los resultados del programa identifica un máximo valor de esfuerzo en la zona del rigidizador interior del fuste o faldón (ver figura 14). El valor es de 160.7 MPa (Esfuerzo equivalente de von-Mises).
- La forma constructiva emperrada permite que sea desarmable, esto ha obligado realizar un análisis modal del ensamble Silo + Faldón + Estructura de apoyo, el cual se presenta en el acápite 4.5 con resultados confiables para la futura construcción.
- En la estructura inferior soporte si se han considerado como carga los elementos rigidizadores con perfil de tubo cuadrado (ver figura18); donde su ubicación es importante porque disminuye la longitud de pandeo de la columna (según DIN 4114) [8].

## REFERENCIAS

- [1] J. Ravenet (2009). *SILOS. Teoría. Investigación. Construcción*. ISBN 10; 8471460882. España
- [2] Software *ANSYS R19.1* (2019) USA. Disponible en: <http://www.ansys.com>
- [3] Hibbeler, R. (1997). *Structural Analysis*, Editorial Prentice Hall, Inc. USA
- [4] McCormac, J. (1980). *Structural Steel Design*. Clemson University. USA
- [5] VDI2230 (1990). *Berechnung von Struktur schrauben*. Berlin
- [6] ANSI-AWS-D1.1. (2000). *Requeriments of Design welding*. USA
- [7] DIN 4100. (1990). *Übersetzungen von DIN-Normen*. Beuth Verlag. Berlin
- [8] DIN 4114. (1990). *Übersetzungen von DIN-Normen*. Beuth Verlag. Berlin

## DETERMINAÇÃO DE DESCARGAS DE LODO DE REATORES UASB COM PÓS-TRATAMENTO AERADO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS DO EFLUENTE

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 05/01/2021

### Jane Mary Targino Moreira

Companhia de Água e Esgoto do Ceará  
(CAGECE)  
Fortaleza – Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/1940336094126538>

### Ruam Magalhães da Silva

Companhia de Água e Esgoto do Ceará  
(CAGECE)  
Fortaleza – Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/0525957147125766>

### Renata Carlos Freire

Universidade Federal do Ceará (UFC)  
Fortaleza – Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/0927966022255300>

**RESUMO:** Um fator crucial para o bom desempenho de reatores UASB é a frequência do descarte de lodo e a consequente qualidade da biomassa desenvolvida no reator. Uma rotina de descargas adequada proporcionará estabilidade e maior eficiência no tratamento do esgoto. Em virtude do expressivo número de reatores UASB existentes no Ceará e da importância do controle do volume e da qualidade da manta de lodo, constatou-se a necessidade de buscar um parâmetro de obtenção prática, simples e rápida, que pudesse ser realizado em campo diariamente e fosse possível nortear as ações do operador no descarte de lodo nos reatores e decantadores secundários. Portanto, este trabalho tem como

objetivo geral ajustar as descargas de lodo da ETE José Euclides, localizada em Fortaleza/Ce, através da análise de Sólidos Sedimentáveis do efluente, que foi escolhido como indicador em função da simplicidade e agilidade da análise, fácil leitura do resultado e não necessitar de equipamentos mais sofisticados e onerosos. O estudo foi realizado no período de fevereiro a abril de 2018. Pelo resultado das análises do efluente final, a partir da mudança das frequências de descarga, foi possível constatar uma melhora na eficiência de remoção de DQO de 76% em janeiro para 94% em abril, apresentando concentração de 201,40 mg/L em janeiro e 55 mg/L em abril. Em relação a remoção de SST e *E. Coli* não foram obtidas grandes reduções nos resultados do efluente final. Recomendou-se realizar descarga de lodo quando o resultado de Sólidos Sedimentáveis fosse superior a 1,0 mL/L no reator UASB e maior que 0,5 mL/L no decantador secundário.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sólidos Sedimentáveis; Descarte de Lodo; Frequência de Descarga.

### DETERMINATION OF SLUDGE DISCHARGES FROM UASB REACTORS WITH AERIC POST-TREATMENT THROUGH ANALYSIS OF SEDIMENTABLE SOLIDS FROM THE EFFLUENT

**ABSTRACT:** A crucial factor for the good performance of UASB reactors is the frequency of sludge disposal and the consequent quality of the biomass developed in the reactor. An adequate discharge routine will provide stability and greater efficiency in the treatment of sewage. In view

of the expressive number of UASB reactors in Ceará and the importance of controlling the volume and quality of the sludge blanket, it was found that there was a need to seek a practical, simple and quick parameter to obtain in the field on a daily basis. and it was possible to guide the operator's actions in the disposal of sludge in the reactors and secondary decanters. Therefore, this work has the general objective of adjusting the sludge discharges from WWTP José Euclides, located in Fortaleza/Ce, through the analysis of Sedimentable Solids of the effluent, which was chosen as an indicator due to the simplicity and agility of the analysis, easy reading of the result and not requiring more sophisticated and costly equipment. The study was carried out from February to April 2018. From the result of the analysis of the final effluent, from the change in the discharge frequencies, it was possible to verify an improvement in the efficiency of COD removal from 76% in January to 94% in April, with a concentration of 201.40 mg/L in January and 55 mg/L in April. Regarding the removal of SST and *E. Coli*, no great reductions in the results of the final effluent were obtained. It was recommended to discharge sludge when the Sedimentable Solids result was greater than 1.0 mL/L in the UASB reactor and greater than 0.5 mL/L in the secondary decanter.

**KEYWORDS:** Sedimentable Solids; Sludge disposal; Discharge Frequency.

## 1 | INTRODUÇÃO

Um fator crucial para o bom desempenho de reatores UASB é o descarte de lodo e a consequente qualidade da biomassa desenvolvida no reator. Uma rotina de descargas adequada proporcionará estabilidade e maior eficiência no tratamento do esgoto. A remoção da matéria orgânica do esgoto nos reatores UASB ocorre nas camadas leito e manta de lodo, principalmente no leito, que é a camada que se forma no fundo reator UASB, onde o lodo é mais denso e de maior atividade. A manta de lodo é a zona que se desenvolve logo acima do leito, onde forma-se uma camada de lodo mais floculento, de crescimento bacteriano mais disperso e com menor sedimentabilidade (CHERNICHARO, 2016).

De acordo com Jordão e Pessoa (2017), estima-se para esgotos domésticos uma produção entre 0,15 e 0,20 Kg/SST/KgDQO afluente. O lodo no interior do reator apresenta um teor de sólidos de 3 a 5%, tendendo a aumentar ao longo do tempo caso nenhum descarte de lodo seja realizado. Isso pode elevar a concentração de sólidos e o nível da manta de lodo e ocasionar perda de sólidos com o efluente, aumentando assim as concentrações de SST, DBO e DQO do efluente.

O Estado do Ceará possui atualmente cerca de 50 Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) com reatores UASB. Dentre estas, 17 são reatores UASB com pós-tratamento por Filtro Submerso Aerado (FSA). Diante do expressivo número de ETEs do tipo UASB+FSA existentes no Ceará e da importância e necessidade do controle do volume e qualidade da manta de lodo (leito e manta) nos reatores UASB, a qual se dá através de uma rotina operacional bem estabelecida, viu-se a necessidade de buscar um parâmetro de obtenção prática, simples e rápida, que pudesse ser realizado em campo diariamente e fosse possível nortear o operador em relação a necessidade de descarte de lodo nos

reatores UASB e nos decantadores secundários.

Este trabalho tem como objetivo geral ajustar as descargas de lodo da ETE José Euclides localizada em Fortaleza/Ce, através da análise de Sólidos Sedimentáveis (S. Sed.) do efluente, devido ser uma análise fácil e de rápida execução. Os objetivos específicos são estabelecer a frequência e volume de lodo a descartar, definir um valor máximo aceitável de Sólidos Sedimentáveis para os efluentes do UASB e do decantador e enquadrar o efluente final da estação dentro dos padrões da Resolução COEMA nº 02/2017.

## 2 | METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido na ETE José Euclides, situada no bairro Jangurussu, no município de Fortaleza - Ce. A estação é constituída por gradeamento, caixa de areia, 02 conjuntos paralelos de reatores UASB seguidos por filtro submerso aerado (FSA), decantadores lamelar (DL) e desinfecção por cloração (CL), com aplicação de solução de hipoclorito de cálcio no tanque de contato. O estudo foi realizado no período de fevereiro a abril de 2018.

O parâmetro Sólido Sedimentáveis (S. Sed.) foi escolhido como indicador para o ajuste das descargas em função da simplicidade e agilidade da análise, fácil leitura do resultado e por não necessitar de equipamentos mais sofisticados e onerosos para se manter na área da estação, tendo em vista que a ETE José Euclides está localizada em área vulnerável a furtos e vandalismo. Outra vantagem é que o próprio operador ao realizar a análise em campo já pode executar alguma intervenção, visto que os reatores UASB possuem um Tempo de Detenção Hidráulico (TDH) baixo, cerca de 6 a 10 horas, requerendo ações imediatas.

As descargas iniciais (escuma, lodo floculento, denso e lodo de fundo do decantador) foram definidas com base na frequência e volume de lodo descartado que o operador costumava realizar antes do presente estudo. Já o volume foi definido pelo tempo da descarga, abrindo-se sempre o mesmo número de voltas no registro.

O operador começou a analisar e registrar diariamente o resultado dos Sólidos Sedimentáveis do efluente de cada reator UASB e de cada decantador. Ele passou a observar também a cor do efluente e se o resultado dos sólidos estava diminuindo para valores próximos a 0,0 mL/L.h.

As visitas à estação ocorreram de 3 a 4 vezes por semana, no período de fevereiro a abril/2018. A operação e o desempenho de cada unidade e da estação foram acompanhados, procurando observar a magnitude do impacto dos S. Sed. nos resultados de SST, DQO e *E. coli*.

### 3 | RESULTADOS & DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra a frequência da rotina operacional implantada na ETE no período do estudo. É possível perceber que não houve necessidade de muitas alterações na rotina de descargas de lodo dos reatores UASB. Em relação aos decantadores, o tempo de descarga necessitou ser dobrado a partir de março.

Principais Atividades	Fev/18	Mar/18	Abr/18
Descargas de lodo denso (UASB 1 e UASB 2)	5xmês (30 seg)	1xmês (1 min)	1xmês (1 min)
Descargas de lodo floculento (UASB 1 e UASB 2)	1xdia (1 min)	1xdia (1 min)	1xdia (1 min)
Descargas de lodo espuma (UASB 1 e UASB 2)	3xdia (2 min)	3xdia (2 min)	3xdia (2 min)
Descarga de lodo dos decantadores lamelares (Dec 1 e Dec 2)	3xdia (1 min)*	3xdia (2 min)	3xdia (2 min)
Análise de Sól. Sedimentáveis do efluente de cada reator e decantador	Diária	Diária	Diária

*\*Nos dias que o resultado de Sól. Sed. foi mais elevado, foi realizada uma descarga maior de 2 min.*

Tabela 1 - Frequência das atividades na ETE José Euclides

Na Tabela 02 pode-se observar os resultados médios de S. Sed do efluente dos dois reatores UASB, os quais foram semelhantes nos três meses do estudo. A média total do período foi 1,1 mL/L.h para ambos. Também pode-se observar os valores máximos mensais de S. Sed.: 2,6 mL/L.h o valor mais elevado encontrado para o UASB 1 e 2,0 mL/L.h para o UASB 2. As Figuras 01 a 03 mostram o comportamento do efluente dos reatores UASB no início e no final do estudo.

Sólidos Sedimentáveis (mL/L.h)	UASB 1				UASB 2			
	Fev	Mar	Abr	Média	Fev	Mar	Abr	Média
Média do mês	1,1	1,1	1,2	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1
Máxima do mês	1,8	2,6	2,1	2,2	1,5	2,0	2,0	1,8

Tabela 2 - Sólidos Sedimentáveis do efluente dos Reatores UASB

Van Haandel *et al* (1999) realizando descarte de lodo em três reatores UASB em escala piloto a partir do cálculo da produção de lodo, verificaram que é possível efetuar descargas de 50 a 60% da massa máxima de lodo do reator sem prejudicar significativamente seu desempenho. Os autores concluíram que as variáveis Carga Orgânica Aplicada, Produção Específica de Lodo, Massa Mínima e Máxima de lodo no reator e o TDH são parâmetros importantes para determinação da frequência de descargas, assim como a existência de um separador trifásico eficiente.

Lobato *et al* (2018) sugerem que a rotina de descargas pode ser definida a partir do cálculo de um valor mínimo e máximo de lodo a ser mantido no reator. O mínimo corresponde à biomassa necessária para digerir a carga orgânica afluyente e o máximo depende da

capacidade de retenção de lodo no UASB. O cálculo da massa mínima é realizado a partir da carga orgânica afluyente ao reator e da Atividade Metanogênica Específica (AME) do lodo. O cálculo da massa máxima é feita em função dos resultados de Sólidos Suspensos e S. Sed. no efluente, bem como da concentração de Sólidos Totais na zona de digestão.



Figura 1 - Efluente dos reatores UASB (06/02/18)



Figura 2 - Efluente dos reatores UASB (04/04/18)





Figura 3 - Efluente dos reatores UASB (10/04/18)

Em relação aos resultados de S. Sed. dos decantadores, a média total do período também foi semelhante para as duas unidades, sendo 0,3 mL/L.h (Dec.1) e 0,2 mL/L.h (Dec.2), conforme pode ser observado na Tabela 03. Em abril, além do excelente resultado de S. Sed, foi observado um efluente do decantador bastante clarificado, como pode ser verificado nas Figuras 04 a 06.

Sólidos Sedimentáveis (mL/L.h)	DECANTADOR 1				DECANTADOR 2			
	Fev	Mar	Abr	Média	Fev	Mar	Abr	Média
Média do mês	0,4	0,1	0,3	0,3	0,2	0,3	0,0	0,2
Máxima do mês	1,6	0,1	2,0	1,2	1,2	3,0	0,2	1,5

Tabela 3 - Sólidos Sedimentáveis do efluente dos Decantadores



Figura 4 - Efluente dos decantadores (06/02/18)



Figura 5 - Efluente dos decantadores (04/04/18)



Figura 6 - Efluente dos decantadores (10/04/18)

No final de fevereiro foi observado que quando eram realizadas 3 descargas por dia nos decantadores, o resultado de S. Sed melhorava, como mostram os meses de março e abril para o Decantador 1 e o mês de abril para o Decantador 2. Notou-se também que o efluente apresentava-se mais clarificado. Com isso, a partir do mês de março a frequência de descarga dos decantadores aumentou de 1 para 2 minutos.

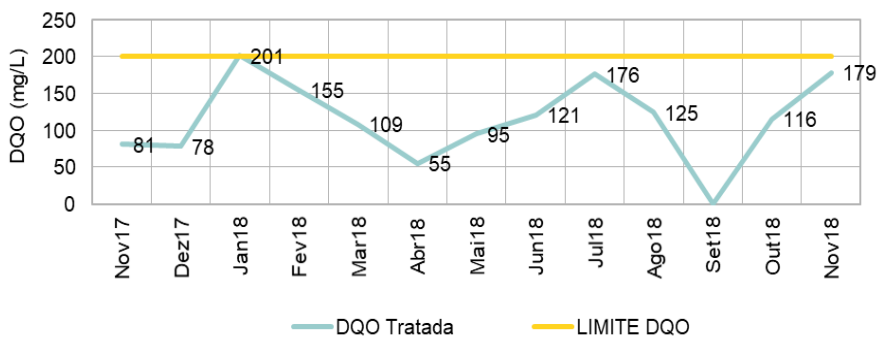


Gráfico 1 - DQO do efluente final

No Gráfico 1 podemos observar os resultados da DQO do efluente final no período de nov/17 a nov/18, sendo o menor valor obtido em abril/18. O Gráfico 2 mostra os resultados das análises de DQO do esgoto bruto e tratado, onde pode-se verificar que a DQO ficou abaixo de 200 mg/L e houve uma redução gradativa no período de fevereiro a abril/18 corroborando com os resultados do Gráfico 3, onde podemos constatar o aumento da eficiência de remoção de DQO no período do estudo, de 76% em janeiro para 94% em abril. No mês de dezembro/2018 não foi possível obter resultado da DQO.

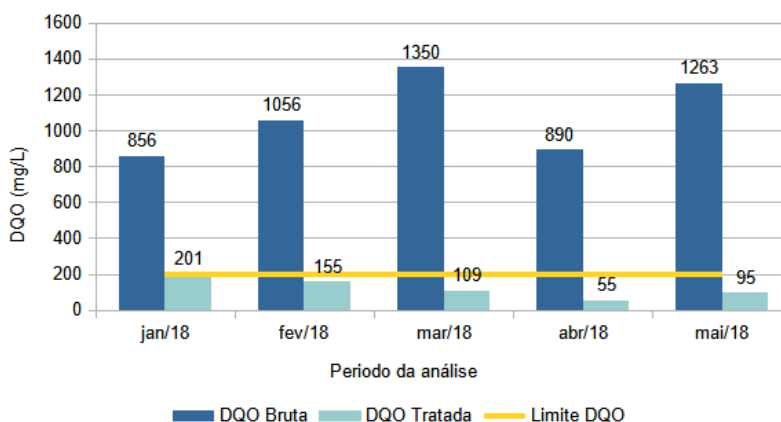


Gráfico 2 - DQO do esgoto bruto e tratado

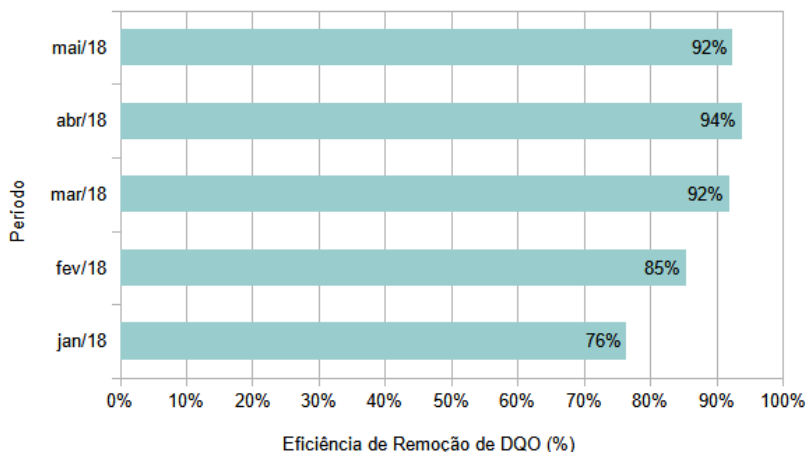


Gráfico 3 - Eficiência de remoção de DQO

Em relação a remoção de SST não foram obtidas grandes reduções nos resultados do efluente final, com exceção de março onde o resultado foi bastante reduzido, apenas 9,2 mgSST/L, conforme pode-se observar no Gráfico 4. Apesar de não ter tido significativas reduções nos meses de fev e abril, o resultado manteve-se bastante satisfatório, bem abaixo do limite de 100 mg/L da Resolução Coema nº 02/2017.

No Gráfico 05 é possível observar que a *E. coli* só começou a atender o padrão da legislação a partir de março, pois no mês de fevereiro ainda estava sendo testada a dosagem ótima de cloro granulado a ser aplicada.

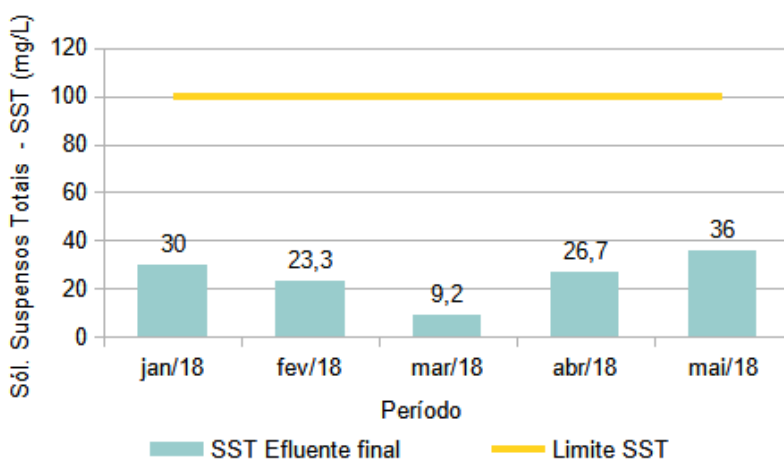


Gráfico 4 - SST do efluente final

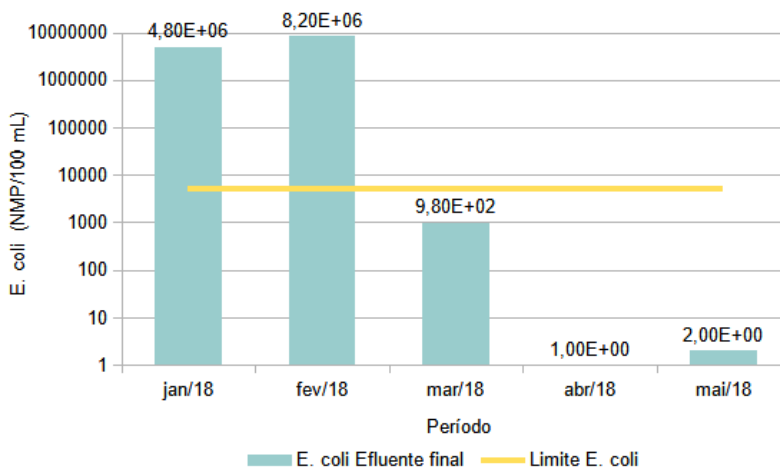


Gráfico 5 - E. Coli do Efluente final (NMP/100 mL)

Foram verificados o TDH e a Velocidade Ascensional real que estavam sendo aplicados no Reator UASB para a vazão média. Os resultados foram 7,2 horas e 0,63 m/h, respectivamente, os quais estão de acordo com a NBR 12.209/2011, que recomenda TDH de 7 horas para temperaturas do esgoto entre 22° e 25° C e Vel. Asc. igual ou inferior a 0,7 m/h no compartimento de digestão para a vazão média.

## 4 | CONCLUSÕES

Pelo resultado das análises do efluente final foi possível constatar uma melhora na eficiência de remoção de DQO de 76% em janeiro para 94% em abril, que apresentou concentração de 201,40 mg/L em janeiro e caiu gradativamente no período do estudo, chegando a 55 mg/L em abril.

Conforme os dados obtidos, foi possível determinar o volume e a frequência de descargas de lodo de reatores UASB e decantadores através da análise de sólidos sedimentáveis do efluente destas unidades, sendo recomendado realizar descarga de lodo quando o resultado de S.Sed for superior a 1,0 mL/L no reator UASB e maior que 0,5 mL/L no decantador secundário.

É imprescindível verificar também se a estação está melhorando seu desempenho após a rotina implantada, através de outros parâmetros como DQO, SST, Cloro Residual e *E. coli*. Além disso é importante conferir o TDH e a Velocidade Ascensional, pois caso não estejam conforme o projeto e a NBR 12.2019/11, o primeiro pode diminuir a eficiência do reator e o segundo carrear sólidos da manta de lodo para o efluente.

## REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209: **Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 2016. (Série Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 5).

JORDÃO, E. P; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 7. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2017.

LOBATO, L. C. S. *et al.* **Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário** – Parte 3: Gerenciamento de lodo e espuma. Revista DAE. São Paulo – SP, v.66, n.214, p.30-55, 2018.

VAN HAANDEL. A. C. *et al.* **Estratégia de descarga de lodo de excesso de reatores UASB tratando esgoto municipal**. In: 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 1999. Rio de Janeiro – RJ, I-167, p. 949-962.

## AVALIAÇÃO DE ÓLEO VEGETAL ISOLANTE OBTIDO DE UMA NOVA FONTE DE MATÉRIA-PRIMA: AS MICROALGAS

*Data de aceite: 01/03/2021*

### **Helena Maria Wilhelm**

Vegoor Tecnologia Aplicada  
Colombo – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/5390521534895856>

### **Giorgi Dal Pont**

Vegoor Tecnologia Aplicada  
Colombo – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/3283158968198702>

### **Claudio Aparecido Galdeano**

MGM Diagnósticos e Consultoria  
Campinas – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/6847066321733626>

### **Eduardo João de Palma**

Solazyme  
São Paulo – São Paulo

### **Luiz A. Ravaglia**

Solazyme  
São Paulo – São Paulo

**RESUMO:** O setor elétrico tem buscado alternativas aos óleos minerais isolantes por meio de produtos biodegradáveis e de estabilidade a oxidação adequada. Possíveis fontes de óleos isolantes com tais características são as microalgas, que são organismos que podem ser produzidos em determinadas condições que permitem o desenvolvimento de perfis de ácidos graxos com elevada estabilidade a oxidação. Além de serem biodegradáveis e de sua produção não competir com terras aráveis nem com a produção de alimentos. O objetivo

do presente trabalho foi avaliar a potencialidade de aplicação de um óleo extraído de uma nova fonte, as microalgas, aqui denominado de OV-M, como fluido isolante. Amostras desse óleo foram analisadas de acordo com os ensaios descritos na norma ABNT NBR 14522. Também foram realizados ensaios para avaliar a estabilidade a oxidação desse óleo comparativamente à estabilidade de óleos vegetais isolantes extraídos de plantas oleaginosas, bem como ensaios de toxicidade oral. Os resultados das análises realizadas indicam que o óleo de microalgas é um potencial candidato para aplicação como fluido isolante em transformadores.

**PALAVRAS-CHAVE:** Óleo isolante, microalgas, estabilidade a oxidação, éster natural isolante, novos fluidos isolantes.

### EVALUATION OF INSULATING VEGETABLE OIL OBTAINED FROM A NEW RAW MATERIAL: MICROALGAE

**ABSTRACT:** Electrical sector have searched for alternative to insulating mineral oils through products that are biodegradable and that have adequate oxidation stability. Possible sources of insulating oils with such characteristics are microalgae, which are organisms that can be produced in certain conditions that lead to development of fatty acid profiles with high oxidation stability. Besides that, microalgae are biodegradable and their production does not compete with agricultural lands neither with food production. This study aimed to evaluate potential of the use of na oil extracted from a new source, microalgae, here denoted as OV-M, as insulating

fluid. Samples of the aforementioned oil were analyzed according to the assays described in ABNT NBR 14522 standard. Also, assays were performed in order to measure the oxidation stability of this oil in comparison to that of insulating vegetable oils extracted from oil plants, as well as assays of oral toxicity. The results of the analyzes performed pointed that microalgae oil is a potential candidate to be used as insulating fluid in transformers.

**KEYWORDS:** Insulating oil, microalgae, oxidation stability, insulating natural ester, new insulating fluids.

## 1 | INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com o meio ambiente tem estimulado o setor elétrico a buscar alternativas aos óleos isolantes derivados de petróleo. O óleo vegetal é uma dessas alternativas utilizadas em equipamentos elétricos, principalmente, por ser um fluido derivado de fontes renováveis, extraído de sementes oleaginosas, como soja, milho, girassol e outras, além de ser facilmente biodegradável e ser um fluido de segurança (ponto de combustão superior a 300 °C) (Wilhelm et al., 2009; Wilhelm et al., 2011). Dependendo do tipo de óleo base utilizado na formulação e do pacote de aditivos antioxidantes adicionados, o óleo vegetal isolante (OVI) pode apresentar maior ou menor resistência a oxidação (Wilhelm et al., 2012; Wilhelm et al., 2013).

O setor elétrico procura um produto facilmente biodegradável e com maior estabilidade a oxidação possível. Estas propriedades não são atingidas na totalidade pelos óleos vegetais atualmente disponíveis, devido a sua composição graxa, dificultando assim o uso deste tipo de fluido em transformadores. Portanto, encontrar novas fontes de matérias primas para a produção de óleos isolantes que confirmam maior estabilidade a oxidação e, ao mesmo tempo, sejam facilmente biodegradáveis auxiliará na ampliação dos nichos de aplicação dessa alternativa ambientalmente e socialmente viável requerida pelo setor elétrico (Wilhelm et al., 2012; Wilhelm et al., 2013).

A produção de óleo a partir de microalgas é uma alternativa às fontes atualmente disponíveis (oleaginosas) para produção de óleo vegetal isolante. As microalgas são organismos unicelulares que produzem naturalmente triglicerídeos a partir da fermentação ou mesmo da ingestão de açúcar. Tais organismos são base da cadeia alimentar de peixes e, desta forma, estão presentes no nosso cotidiano há muito tempo (Shahi et al., 2020).

As microalgas vêm se caracterizando como uma alternativa viável para diferentes setores, tendo em vista duas de suas principais funções, a saber, a possibilidade de desenvolvimento de perfis únicos da cadeia de ácidos graxos (tecnologia da Solazyme Inc), e sua produção não competir com terras aráveis, por utilizar açúcar como fonte de matéria-prima. Dentro do perfil único de ácidos graxos, podem ser desenvolvidas versões de óleos de cadeias longas monoinsaturadas (C18:1) em proporções próximas a 90% e com praticamente ausências de poli-insaturações. Com isto, podem-se obter óleos com características únicas, o que não é possível com as oleaginosas. Desta forma, o objetivo



dessa nova fonte de óleo não é a substituição dos óleos à base de oleaginosas, mas sim agregar novas funções/usos a esse tipo de óleo e, assim, incentivar sua produção em escala industrial. Além disso, do ponto de vista produtivo, as microalgas apresentam maior rendimento de óleo extraído por área cultivada, quando comparadas com plantas superiores (oleaginosas) (Lerayer, 2014; Shahi et al., 2020).

Inspirado nas vantagens supracitadas do uso de óleo de microalgas em relação ao óleo vegetal, o objetivo deste trabalho foi avaliar a potencialidade de aplicação de um óleo extraído desta nova fonte, as microalgas, aqui denominado de OV-M, como fluido isolante.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Aquisição e caracterização do óleo

Foram adquiridas amostras de OVI, provenientes de oleaginosas, comercialmente disponíveis no Brasil, como Envirotemp FR3 formulado a partir do óleo de soja + aditivos), Biovolt A (formulado a partir óleo de milho + aditivos), Biovolt B (formulado a partir do óleo de soja + aditivos) e Biovolt HW (formulado a partir de sementes de girassol com alto teor de ácido oleico + aditivos). As amostras do óleo vegetal de microalgas (OV-M) foram obtidas da Solazyme Inc. Os OVIs e o OV-M foram caracterizados de acordo com ensaios descritos na norma ABNT NBR 15422 (ABNT, 2006).

### 2.2 Ensaio de estabilidade à oxidação

Os OVIs e o OV-M foram analisados pelos métodos Rancimat (BS, 2003) e pela bomba rotatória (ASTM, 2007).

A medida do período de indução (PI) foi realizada pelo método do Rancimat, sendo o ensaio executado a 130 °C, utilizando-se 3 g de óleo (BS, 2203). O método Rancimat baseia-se no monitoramento da condutividade e neste ensaio a amostra de óleo é aquecida em um banho termostatizado com borbulhamento de oxigênio. À medida que a amostra é degradada são formados ácidos voláteis de baixa massa molar que são carregados para um frasco contendo água destilada e um eletrodo de condutividade. Assim, conforme os compostos ácidos voláteis são carregados para a água a condutividade da fase aquosa aumenta continuamente até que, em um determinado tempo (período de indução) ocorre um aumento brusco neste parâmetro. Este aumento brusco pode ser facilmente identificado no gráfico de condutividade *versus* tempo e corresponde ao tempo que a amostra resiste a degradação acelerada, nas condições experimentais utilizadas (Wilhelm et al, 2013). Na Figura 1 é apresentado o gráfico da condutividade *versus* o tempo de realização do ensaio, bem como a determinação do PI (15,50 h).

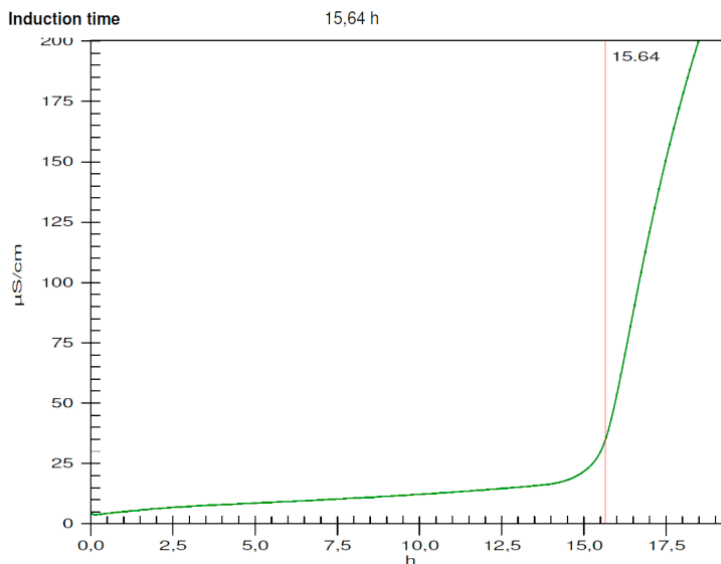


Figura 1 – Curva de condutividade obtida no método Rancimat para amostra de OVI tipo Biovolt A.

## 2.3 Toxicidade do óleo

A toxicidade do OV-M foi determinada em ratos, de acordo com a metodologia descrita pela OECD 408 (OECD, 1998). Para isso, 80 ratos [40 machos (194 a 215 g) e 40 fêmeas (149 a 179 g)] da linhagem Sprague-Dawley CD® IGS®, com 7 a 8 semanas de idade, foram igualmente distribuídos em quatro grupos (N=20; 10 machos e 10 fêmeas). Após a formação dos grupos, os ratos selecionados foram aclimatados às condições experimentais por um período de 6 dias. Ao final desse período, os animais foram pesados e avaliados quanto à condição geral de saúde. Os ratos dos quatro grupos foram alimentados, com ração basal (dieta padrão) contendo diferentes concentrações de OV-M [0 (controle), 2,5, 5 e 10%], por 90 dias. A ração basal foi oferecida para todos os tratamentos após a ingestão da ração contendo OV-M, a fim de garantir que os animais pudessem ser alimentados até completa saciedade, *ad libitum*. Durante todo o período experimental, água filtrada de qualidade foi disponibilizada *ad libitum*.

O monitoramento visual dos animais foi realizado duas vezes ao dia, durante todo o período experimental, para identificação de alteração das condições de saúde e verificação de óbito. Semanalmente, foram mensurados o consumo individual e o peso dos animais para o cálculo do ganho de peso e da eficiência alimentar. A partir desses dados foi calculado quantidade de OV-M consumida.

No octogésimo sétimo (87º) dia de exposição, os animais foram oftalmologicamente avaliados. Cerca de 15 h antes do final do período experimental, os animais foram submetidos à jejum (sólido e líquido). Ao final do período de jejum, os animais foram

anestesiados (com isoflurano) e amostras de sangue, urina e fezes foram coletadas. Após a coleta das amostras, os indivíduos foram eutanasiados por ensanguinação pela artéria aorta abdominal. Foi realizada amostragem de corpo total para posterior realização de pesagem, necropsia e histopatologia dos órgãos. Os parâmetros analisados, pelo Centro Haskell para Ciências da Saúde e Ambiental da DuPont, nas amostras de sangue, urina e tecidos estão descritos na Tabela 1.

Matriz	Parâmetros/Tecidos Analisados
Sangue	<p><b>Hematológicos:</b> Contagem de eritrócitos, concentração de hemoglobina, hematócrito, volume corpuscular médio, hemoglobina corpuscular média, amplitude de distribuição do tamanho dos eritrócitos, contagem absoluta de reticulócitos, contagem de plaquetas, total de células brancas, contagem diferencial de leucócitos, tempo de atividade da protrombina e tempo de tromboplastina parcial ativada.</p> <p><b>Bioquímicos:</b> Aspartato aminotransferase, alanina-aminotransferase, aorbital desidrogenase, fosfatase alcalina, bilirrubina total, nitrogênio uréico, creatinina, colesterol total, triglicerídeos, glicemia, proteína total do soro, albumina, globulina, cálcio, fósforo inorgânico, sódio, potássio e cloreto.</p>
Urina	<p><b>Bioquímicos:</b> pH, glicose, proteína, cetona, bilirrubina e urobilinogênio.</p> <p><b>Visuais/microscópicos:</b> Qualidade, cor, claridade, volume, gravidade específica da urina, sedimento.</p>
Tecidos	<p><b>Pesagem:</b> Glândulas adrenais, rins, baço, cérebro, fígado, timo, epidídimos, testículos, ovários e útero.</p> <p><b>Histopatologia:</b> Esôfago, estômago, duodeno, jejuno, íleo, cólon, ceco, reto, fígado, baço, pâncreas, adrenais, rins, linfonodos, timo, tireoide, paratireoide, bexiga, tubas uterinas, útero, ovários, vagina, próstata, vesículas seminais, medula espinhal, medula óssea, cerebelo, ciático, coração, laringe, faringe, traqueia, glândulas salivares, aorta torácica, ossos e pulmão.</p>

TABELA 1 - Descrição dos parâmetros hematológicos, bioquímicos e histológicos avaliados nas amostras de sangue, urina e tecidos dos animais (machos e fêmeas) após exposição ao OV-M.

## 2.4 Estabilidade no ambiente aquático

As metodologias para a aplicação dos testes de biodegradação aquática (EPA, 1998) e fácil biodegradabilidade (OECD, 1992) são aplicadas às amostras de compostos químicos com o objetivo de avaliar o potencial de biodegradação aerobiótica (por meio da ação de microrganismos) que aquele produto sofrerá quando liberado no meio ambiente aquático. Nesse contexto, apesar de algumas diferenças na expressão do resultado de ambas, as metodologias descritas pela OECD e pela EPA avaliam o mesmo indicador: a quantidade de CO<sub>2</sub> produzido pelos microrganismos durante o processo de degradação da substância testada.

Outro fator que justifica, do ponto de vista logístico, a utilização da metodologia da OECD em detrimento a da EPA, é a baixa disponibilidade de empresas acreditadas que executem essa metodologia. Dessa forma, a estabilidade do OV-M no meio aquático foi testada por meio da determinação da biodegradabilidade imediata (OECD, 1992). Para isso,

quantidades de OV-M, correspondente à  $10 \text{ mgC L}^{-1}$ , foram inseridas em frascos contendo solução nutritiva e um *pool* de microrganismos. Os frascos foram submetidos à aeração em fluxo contínuo com ar previamente filtrado em hidróxido de sódio. Após a passagem do ar pelo frasco contendo hidróxido de sódio e pelo frasco contendo a amostra (solução nutritiva e microrganismos), o mesmo foi direcionado para frascos contendo hidróxido de bário, para a captura do  $\text{CO}_2$ . O teste foi conduzido em fotoperíodo de 0:24 h (zero h claro e 24 h escuro) com temperatura entre 20 e 25 °C por período de, no máximo, 28 dias.

Nos ensaios foram utilizados os tratamentos: branco (solução mineral) e substância teste ( $10 \text{ mgC L}^{-1}$ ), ambos em duplicata. Outros dois tratamentos foram empregados, um contendo solução padrão de biodegradabilidade (benzoato de sódio) e outro com solução inibidora (benzoato de sódio e substância teste). Ao final da exposição, a biodegradabilidade da amostra foi avaliada pela evolução de  $\text{CO}_2$ , que é calculada considerando-se a diferença de volumes de HCl utilizados para a titulação do branco e dos tratamentos contendo as amostras testadas.

O teste é considerado válido se a diferença entre os extremos nas duplicatas for menor que 20% no momento que a amostra demonstra um platô e/ou onde não se observa mais a evolução de  $\text{CO}_2$  (no final do teste ou após a janela de 10 dias de incubação). A substância teste deve apresentar biodegradação, atingindo 25% de liberação de  $\text{CO}_2$  em 14 dias, demonstrando não causar inibição do crescimento dos microrganismos.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de caracterização, obtidos para os óleos novos sob investigação (Tabela 2), estão em conformidade com a especificação constante na norma ABNT NBR 15422 (ABNT, 2006). Baseado nos valores encontrados para o OV-M, pode-se concluir que esse óleo atende a especificação básica para utilização como fluido isolante em equipamentos elétricos. Ensaio de compatibilidade desse óleo com os principais materiais internos de transformadores devem ser realizados bem como ensaios de determinação da vida útil do papel isolante, os quais fornecerão dados complementares sobre a potencialidade de aplicação do OV-M no setor elétrico.

Parâmetro/ Característica	Método de ensaio (ABNT NBR)	Tipo de óleo				
		Envirotemp FR3	Biovolt B	Biovolt A	Biovolt HW	OV-M
Densidade relativa a 20/4 °C	7148	0,9197	0,9184	0,9182	0,9125	0,9160
Viscosidade cinemática à 40 °C	10441	36,3	33,2	34,7	40,8	45,2
Teor de água	5758	68	74	100	80	152
Ponto de fulgor (°C)	11341	317	316	314	310	310
Ponto de combustão (°C)	11341	352	348	344	342	348
Rigidez dielétrica	NBR IEC 60156	53	51	46	59	60
Fator de perdas dielétricas a 25 °C	12133	0,1	0,15	0,13	0,10	0,064
Fator de perdas dielétricas a 90 °C	12133	1,3	2,0	1,8	1,5	0,58
Índice de neutralização	14248	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05

Tabela 2 - Caracterização dos óleos novos sob investigação tal qual recebidos.

Fonte: ABNT, 2006.

Os métodos tradicionalmente utilizados para avaliar a estabilidade a oxidação de óleo mineral isolante (OMI) são o envelhecimento acelerado pela norma ASTM D2440 (ASTM, 2013) e o ensaio da bomba rotatória (ASTM, 2007). No método da ASTM D2440, utiliza-se para avaliação do envelhecimento do óleo os ensaios de índice de neutralização e de determinação de borra. Como o envelhecimento do óleo vegetal, na presença de oxigênio, não forma borra, mas a viscosidade do fluido aumenta, este método não foi utilizado neste trabalho. A sugestão é que este método seja revisado e adaptado para o OVI.

Na Tabela 3 estão mostrados os resultados para os ensaios de estabilidade a oxidação pela bomba rotatória (RBOT) para os diferentes OVIs e o OV-M. Como as condições do ensaio da bomba rotatória são muito agressivas, o óleo vegetal oxida muito rápido neste tipo de ensaio. Os valores encontrados para os óleos Envirotemp FR3 e Biovolt B estão dentro do erro do experimento. Já os óleos Biovolt A, Biovolt HW e OV-M apresentaram resultados superiores, porém ainda muito inferiores aos normalmente encontrados para o óleo mineral isolante, que em geral apresenta valores acima de 200 min. A funcionalidade química do OVI (éster) é responsável pelos valores inferiores em comparação ao óleo mineral isolante (hidrocarboneto), por outro lado, essa mesma funcionalidade confere alta biodegradabilidade aos OVIs. Por outro lado, a diferença observada entre os diferentes OVIs analisados pode ser explicada com base na composição química (tipos de ácidos graxos) e na formulação dos óleos pelos fabricantes (aditivos, estabilizantes, etc.).

Estabilidade a oxidação	Envirotemp FR3	Biovolt B	Biovolt A	OV-M	Biovolt HW
Método Rancimat*, h	~ 3	~ 12	~ 16	~ 19	~ 28
Método Bomba Rotatória, min	~ 7	~ 10	~ 17	~ 25	~ 90

\*Ensaio realizado à 130 °C.

Tabela 3 - Ensaio comparativos de estabilidade a oxidação realizados em diferentes OVIs e o OV-M, pelos métodos Rancimat e bomba rotatória.

Convém ressaltar que o desvio padrão médio para o método do Rancimat é em torno de 0,5 h. Em suma, os resultados obtidos mostram que a sensibilidade do método Rancimat para OVIs que apresentam baixos períodos de indução é maior em comparação a método da bomba rotatória. Ademais, o OV-M apresentou valores intermediários entre o OVI formulado a partir do óleo de milho (Biovolt A) e o de alto teor de ácido oleico (Biovolt HW).

O método Rancimat tem sido empregado há muito tempo para avaliar a estabilidade a oxidação de óleos vegetais comestíveis (Knothe et al., 2005; Domingos et al., 2007) e de óleos vegetais isolantes (Wilhelm et al., 2012, Wilhelm et al., 2013). Nas condições de realização dos ensaios, pode-se perceber que os óleos apresentaram para o método Rancimat um aumento no período de indução, conforme segue: Envirotemp FR3 < Biovolt B < Biovolt A < OV-M < Biovolt HW (Tabela 3). Porém, para o método Rancimat a variação do período de indução entre os óleos Envirotemp FR3, Biovolt B e Biovolt A em comparação aos óleos Biovolt HW e OV-M foi menos acentuada em comparação ao método da bomba rotatória. Outro item a observar é que para o método Rancimat a diferença entre os óleos Envirotemp FR3 e Biovolt B (9 h), por exemplo, é bem perceptível enquanto para o método da bomba rotatória a diferença observada (3 min) está dentro do erro experimental do método.

Nos testes de toxicidade oral realizados em roedores não foi observada mortalidade ou alterações dos sinais clínicos e oftalmológicos, bem como alteração de peso, consumo de alimentos ou alterações na eficiência alimentar, atribuíveis à ingestão do OV-M. Foram observadas pequenas reduções, sem diferença estatística ( $p > 0,05$ ), no consumo de alimento para os machos do grupo 4 (100.000 ppm). Esse fato pode estar relacionado com pequenas diferenças na densidade de energia do material teste em relação à dieta controle e/ou a diferenças leves de palatabilidade.

A exposição ao OV-M não induziu o aparecimento de patologias clínicas, macroscópicas ou alterações de peso de órgãos associados. As alterações histopatológicas observadas nas glândulas adrenais de fêmeas do grupo 2 (vacuolização citoplasmática) também podem estar relacionadas com a alteração da densidade da dieta, porém do ponto de vista toxicológico, tais alterações são consideradas de mínima gravidade, sem impacto toxicológico.

Em resumo, nas condições do presente estudo, não houve alterações, hematológicas, clínicas e bioquímicas relacionadas com a administração de OV-M em roedores. Todas as alterações foram consideradas incidentais e sem impacto biológico, uma vez que não foram acompanhadas por qualquer outra alteração clínica ou histopatológica associada. Como tal, estas e todas as outras variações foram consideradas toxicologicamente insignificantes. Nas condições deste estudo e, com base nos parâmetros toxicológicos avaliados, o nível sem efeito adverso observado (NOAEL), para a administração de OV-M na dieta de ratos, foi de 100.000 ppm, a dose mais elevada testada.

Geralmente, testes de toxicidade utilizados para a caracterização de um produto avaliam apenas um indicador: a mortalidade dos animais expostos à substância teste. Dessa forma, efeitos subcrônicos (aqueles que não causam mortalidade) não são avaliados (Costa et al., 2008). Por esse motivo, o ensaio de toxicidade utilizado no presente trabalho contribui de maneira efetiva para a avaliação dos efeitos do OV-M para organismos vivos, porque apresenta dados de análises em vários níveis de complexidade biológica (bioquímicos, hematológicos, histológicos e clínico-patológicos), os quais asseguram maior confiabilidade aos resultados obtidos.

Após a realização do ensaio de biodegradabilidade imediata, foram obtidos os valores de CO<sub>2</sub> contidos na Tabela 4. O ensaio foi considerado válido, já que a diferença entre os extremos das duplicadas foi menor que 20% e o padrão biodegradável (NaC<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CO<sub>2</sub>) apresentou aumento de 60% de evolução de CO<sub>2</sub> em 10 dias. Além disso, a amostra OV-M (OV-M 1 e OV-M 2 da Tabela 4) apresentou liberação de CO<sub>2</sub> superior a 25% em 14 dias de exposição, indicando que não houve inibição do crescimento dos microrganismos por parte da substância teste.

Dias de incubação	Liberação de CO <sub>2</sub> (mg)			
	OV-M 1	OV-M 2	NaC <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CO <sub>2</sub> 1	NaC <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CO <sub>2</sub> 2
1	9,4	10,1	29,6	29,8
3	43,0	31,8	55,3	55,0
6	58,7	40,2	76,7	70,9
8	67,7	46,0	105,6	97,0
10	75,6	56,4	135,7	128,9
13	80,8	62,4	151,5	145,6
18	98,6	82,7	177,4	170,1
23	118,2	104,5	196,2	192,5

Tabela 4 - Total de CO<sub>2</sub> (mg) liberado da substância testada (OV-M) e do benzoato de sódio (NaC<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CO<sub>2</sub>) durante 23 dias de exposição.

A fácil biodegradabilidade observada para o OV-M indica que, quando em contato com o meio ambiente, as bactérias, naturalmente presentes naquele local, podem biodegradar o produto e, com isso, este ficará menos biodisponível para causar efeitos adversos para a fauna e flora local (Heath, 1995). A fácil biodegradabilidade e a ausência de efeitos tóxicos tornam o OV-M um produto desejável para operar em locais que apresentam condições que inviabilizam ações de remediação rápidas, em caso de vazamento ou derramamento.

## 4 | CONCLUSÃO

As análises físico-químicas realizadas mostraram que o OV-M (óleo mineral extraído de microalgas) atendeu às especificações básicas definidas pela norma ABNT NBR 15422. Ainda, quando comparado aos óleos vegetais, o OV-M possui estabilidade a oxidação superior ao óleo Biovolt A, porém inferior ao óleo com alto teor de ácido oleico (Biovolt HW), indicando que seu perfil de ácidos graxos ainda pode ser melhorado pela tecnologia da Solazyme Inc.

Do ponto de vista ambiental, o OV-M foi muito favorável, uma vez que não causou nenhum efeito tóxico sobre os animais testados, sendo que o NOAEL obtido foi de 100.000 ppm, a maior concentração testada. Além da não toxicidade, o OV-M apresentou biodegradação de 100% sendo, dessa forma, considerado como um produto facilmente biodegradável. Outros ensaios, complementares, precisam ser realizados para inferir sobre sua aplicação em transformadores de energia, como a compatibilidade com materiais internos do transformador e a determinação da vida útil do papel isolante.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard Test Method for Oxidation Stability of Inhibited Mineral Insulating Oil by Pressure Vessel**. ASTM D2112:2007. United States of America.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard Test Method for Oxidation Stability of Mineral Insulating Oil**. ASTM D2440:2013. United States of America.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Óleos vegetais isolantes para equipamentos elétricos – Especificação**. ABNT NBR 15422:2006. Brasil.

BRITISH STANDARDS – BS. **Fat and oil derivatives. Fatty acid methyl esters (FAME). Determination of oxidation stability (accelerated oxidation test)**. BS EN 14112:2003. United Kingdom.

COSTA, C. R., OLIVI, P., BOTTA, C. M. R., ESPINDOL, E. L. G. **A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação**. Química Nova, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.



DOMINGOS, A. K., VECHIATTO W. D., SAAD, E. B., WILHELM, H. M., RAMOS, L. P. **The Influence of BHA, BHT and TBHQ on the Oxidation Stability of Soybean Oil Ethyl Esters (Biodiesel)**. Journal of the Brazilian Chemical Society, v. 18, n. 2, p. 416-423, 2007.

HEATH, A. G. **Water Pollution and Fish Physiology**. Lewis Publishers, 2nd ed., Boca Raton, Florida, USA, 1995.

KNOTHE, G., VAN GERPEN, J., KRAHL, J. **The Biodiesel Handbook**, AOCS Press, Champaign, Illinois, USA, p. 302, 2005.

LERAYER, A. **Solazyme: “unlocking the power of microalgae: a new source of sustainable and renewable oils”**. BMC Proceedings, v. 8, 2014.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD. **Guidelines for Testing of Chemicals and Food Ingredients, Section 4 (Part 408): Health Effects, Repeated Dose 90-Day Oral Toxicity Study in Rodents**. 1998.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD. **Ready Biodegradability (301 – part B - 301 B CO<sub>2</sub> evolution test)**. 1992.

SHAHI, T., BEHESHTI, B., ZENOZI, A., ALMASI, M. **Bio-oil production from residual biomass of microalgae after lipid extraction: The case of *Dunaliella Sp.*** Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, v. 23, 2020.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECT AGENCY - EPA. **835.3100 - Aerobic Aquatic Biodegradation**. 1998.

WILHELM, H. M., STOCCO, G. B., BATISTA JR., S. G., **In-service natural ester-based insulating fluids reclaiming: preliminary study**. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, v. 20, n. 1, p.128-134, 2013.

WILHELM, H. M., STOCCO, M. B. C., TULIO, L. **Edible natural ester oils as potential insulating fluids**. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, v. 20, n. 4, p. 1395-1401, 2012.

WILHELM, H. M., TULIO, T., JASINSKI, R., ALMEIDA, G. **Aging markers for in-service natural ester-based insulating fluids**. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, v. 18, n. 3, p. 714-719, 2011.

WILHELM, H. M., TULIO, L., UHREN, W. **Produção e uso de óleos vegetais isolantes no setor elétrico**. Brasil Engenharia. São Paulo - Brasil, v. 592, p. 120-124, 2009.

## ANÁLISE ESTRUTURAL DO COMPORTAMENTO SÍSMICO DE BARRAGENS DE REJEITO

*Data de aceite: 01/03/2021*

*Data de submissão: 08/12/2020*

### **Antonio Nilson Zamunér Filho**

Universidade Federal de Catalão – UFCAT  
Catalão – GO  
<http://lattes.cnpq.br/8811301615320915>

### **Gabriel Gomes Silva**

Universidade Federal de Catalão – UFCAT  
Catalão – GO  
<http://lattes.cnpq.br/2266252601158828>

### **Wellington Andrade da Silva**

Universidade Federal de Catalão – UFCAT  
Catalão - GO  
<http://lattes.cnpq.br/2449347153075493>

**RESUMO:** A mineração é um dos pilares da sustentação econômica de um país, contribuindo diretamente para seu desenvolvimento, contando que suas atividades sejam realizadas com responsabilidade social e ambiental, estando sempre presentes os preceitos do desenvolvimento sustentável. Porém, das atividades de mineração resultam a produção de elevadas quantidades de resíduos, que devem ser armazenadas de forma segura. Um destes resíduos é a fração de rejeito, provinda do processo de beneficiamento mineral e disposta em barragens de rejeito, as quais devem ser projetadas com foco em diversas diretrizes que garantam sua estabilidade. Um dos pontos de estudo deste trabalho é a análise estrutural das barragens quando solicitadas por

ações sísmicas, visto que a sismicidade pode instabilizar os diques de contenção, reduzindo o fator de segurança a ponto de haver uma ruptura dos taludes, gerando impactos catastróficos, além de encargos econômicos como multas, indenizações, entre outros, podendo até levar a inviabilização das atividades mineiras.

**PALAVRAS-CHAVE:** Barragens de rejeito, sismicidade, estabilidade.

### STRUCTURAL ANALYSIS OF SEISMIC BEHAVIOR OF TAILINGS DAMS

**ABSTRACT:** Mining is one of the pillars of a country's economic support, contributing directly to its development, as long as its activities are carried out with social and environmental responsibility, with the precepts of sustainable development always present. However, mining activities result in the production of large quantities of waste, which must be stored safely. One of these residues is the fraction of tailings, originating from the mineral beneficiation process and disposed of in tailings dams, which must be designed with a focus on several guidelines that guarantee its stability. One of the points of study of this work is the structural analysis of the tailings dams when requested by seismic actions because the seismicity can instabilize the containment dikes, reducing the safety factor to the point of the rupture of the landfills, generating catastrophic impacts, in addition to charges economic, such as fines, indemnities, among others, which may even result in the impossibility of mining activity.

**KEYWORDS:** Tailings dams, seismicity, stability.

## 1 | INTRODUÇÃO

Nas atividades de mineração, a extração e o processamento de minério resultam de elevadas quantidades de resíduos, os quais são definidos como a fração estéril, provinda da exploração na mina e encaminhada para pilhas de estéril, e a fração de rejeitos, originada a partir da etapa de concentração e processamento mineral e encaminhada para armazenamento em barragens devidamente dimensionadas.

De acordo com Rezende (2013), a integridade das barragens de rejeito é de suma importância devido ao grande potencial contaminante do material contido nas mesmas.

Aliado ao enorme potencial contaminante, tem-se atualmente um aumento significativo no volume de rejeitos a serem estocados, devido a evolução de novas técnicas, tanto na lavra quanto no processamento mineral, as quais permitem um maior aproveitamento dos minérios, principalmente aqueles de baixo valor agregado. Nesse contexto, necessita-se de barragens de maiores dimensões, sendo fundamental que haja um planejamento das atividades de modo a garantir o perfeito funcionamento destas obras, assegurando a continuidade das atividades mineiras com segurança e evitando possíveis impactos ambientais (AMORIM, 2007).

Algumas falhas ocorridas em barragens de contenção de rejeitos custaram vidas e causaram danos ambientais consideráveis, resultando em grandes volumes de rejeitos descarregados no meio ambiente (DUARTE, 2008).

Na busca pela redução destes acidentes relacionados a estruturas de contenção, as barragens de rejeito devem ser projetadas com parâmetros mínimos de segurança que são normalmente aceitáveis para os cálculos de estabilidade de taludes. Os coeficientes de segurança obtidos e aceitos para os taludes, nas diversas fases do ciclo de vida do barramento, devem levar em conta a confiabilidade dos dados utilizados nas análises de estabilidade, a adequabilidade e as limitações das análises selecionadas, as magnitudes das deformações toleráveis e as consequências da ruptura em potencial.

Logo, suportar movimentos de fundação associados à sismicidade, sem a perda da capacidade de serviço do reservatório são características essenciais e obrigatórias para projetos e avaliações de barragens, e seu estudo deve ser realizado de maneira rigorosa e bem planejado. Este trabalho busca analisar a estabilidade de barragens quando sujeitas a ações sísmicas, que podem ser geradas de diversos modos, naturais e artificiais (como terremotos, induzidas por veículos, desmontes de rocha com explosivos, entre outros), e que impactará na diminuição do fator de segurança da mesma, podendo acarretar em uma instabilização e ruptura do dique, causando impactos ambientais, sociais e ainda causar perdas de vidas humanas.

## 2 | DISPOSIÇÃO DE REJEITOS NA MINERAÇÃO

Existem inúmeras formas de disposição de rejeitos, as principais são a disposição em superfície (a céu aberto), em cavidades subterrâneas ou de forma subaquática, sendo que esta última não é comumente utilizada, principalmente por causa dos impactos ambientais a ela relacionados. Atualmente a busca por novas alternativas de disposição destes materiais vem sendo contínua e incessante, devido a diversos fatores, como os grandes volumes de rejeitos provindos do processamento mineral, a necessidade de recuperação de água, redução de impactos ambientais e grandes custos associados ao armazenamento (FIGUEIREDO, 2007).

A forma mais utilizada para dispor rejeitos é a céu aberto, onde utiliza-se para construção do dique de partida materiais provindos de jazidas de empréstimo e também o próprio estéril e/ou rejeito gerados na mina e nas instalações de processamento. O alteamento das barragens pode assumir muitas configurações, cada uma com suas próprias características, requisitos, vantagens e riscos, sendo que estes alteamentos normalmente são realizados com o próprio rejeito, podendo ser por três métodos construtivos diferentes, o método a Montante, método a Jusante e método de Linha de Centro (AMORIM, 2007; FIGUEIREDO, 2007).

O método da montante, é o mais antigo e econômico, sendo uma evolução natural do procedimento empírico de disposição de rejeito, como pode ser observada Figura 1. Atualmente a Agência Nacional de Mineração (ANM) proibiu a utilização do método em todo o território nacional, estabelecendo prazos para descaracterização devido aos inúmeros casos de acidentes causados pela ruptura de barragens que utilizavam este método de alteamento.

Para o método a montante, tem-se que o eixo da barragem se desloca para montante conforme esta vai sendo alteada. Devido o alteamento ser realizado sobre outra camada de rejeito inicialmente depositada (praia de disposição) tem-se que, com uma operação e monitoramento inadequados, a probabilidade de ocorrência de problemas relacionados a suscetibilidade a liquefação e *piping* sejam maiores, o que atribui a este método um caráter de menor segurança com relação aos demais (SPITZ; TRUDINGER, 2009).

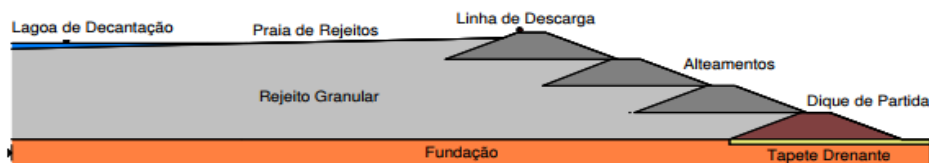


Figura 1 - Alteamento de uma barragem de rejeitos pelo método a Montante (ALBUQUERQUE FILHO, 2004)

Quanto ao método de jusante, tem-se que o eixo da barragem se desloca para jusante conforme ocorre seus alteamentos, fato este que permite que não haja alteamentos realizados sobre a praia de rejeitos, garantindo maior segurança ao barramento. Em contrapartida, tem-se que o método necessita volumes maiores de material para a sua construção, ocupando uma área final bem maior e tendo um custo atribuído mais alto com relação aos outros métodos (AMORIM, 2007).

Uma alternativa entre os métodos já citados seria o método da linha de centro, o qual é uma variação do método de jusante. Neste, tem-se que o eixo da barragem desloca-se verticalmente com relação a execução dos alteamentos. Este método apresenta custos intermediários e necessita de volumes menores, sendo uma alternativa bastante flexível quando comparado ao método a jusante, porém mais dispensioso que o método a montante (AMORIM, 2007).

### 3 | CARACTERÍSTICAS DOS SISMOS

Segundo Lima (2008), inúmeras são as aplicações da dinâmica em projetos de estruturas no ramo das engenharias, principalmente devido as forças sísmicas estarem entre as mais destrutivas forças da natureza, e potencialmente representarem um grande risco de danos materiais e de perdas de vidas humanas. Com a tecnologia disponível, a previsão da ocorrência e grandeza de um sismo em um determinado local, só pode ser feita em termos probabilísticos. O que se busca é, a partir dos registros de sismos passados se obter informações do ponto de vista de engenharia, para que as construções tenham, no futuro, um risco de colapso dentro de um nível de probabilidade considerado como aceitável pela sociedade.

Segundo Loayza (2009), a intensidade de um sismo é um parâmetro de medida qualitativa que classifica a severidade do movimento do solo, provocado por um sismo numa determinada área, com base nos efeitos experimentados por pessoas e observados em objetos, estruturas e na natureza. É, portanto, um parâmetro subjetivo, pois depende da impressão do observador. A magnitude é uma medida quantitativa relacionada com a energia liberada pelo sismo, sendo calculada em função da máxima amplitude dos deslocamentos registrados em estações sismográficas.

De acordo com Assumpção (2000), o tamanho relativo dos sismos é denominado de magnitude. Pode-se mensurá-la usando a Escala Richter, criada em 1935, pelo sismólogo estadunidense Charles Richter. A medida da escala é logarítmica, ou seja, apresenta intervalos de diferença na amplitude das vibrações de dez vezes. Assim, um tremor de magnitude na Escala Richter de 5 tem vibrações dez vezes menores que um tremor de magnitude 6 e cem vezes menores que um cuja magnitude é 7.

Sismos com magnitude menor que 5 geralmente causam danos de pouca significância, já os de magnitude maior do que 5 são potencialmente muito destrutivos.

A profundidade do hipocentro<sup>1</sup> também é um fator que afeta os efeitos destrutivos de um sismo. O Quadro 1 apresenta uma análise da ocorrência de terremotos no Brasil com magnitude superior a 5 entre 1955 e 2008.

Ano	Local	Magnitude (escala Richter)
1955	Serra Tombador - MT	6,6
1955	Litoral Vitória - ES	6,3
1963	Manaus - AM	5,1
1964	NW Mato Grosso do Sul	5,4
1980	Paracajus - CE	5,2
1983	Codajás - AM	5,5
2007	Divisa entre AC e AM	6,1
2008	São Paulo - SP	5,2

Quadro 1 - Terremotos no Brasil com magnitude superior a 5 entre 1922 e 2008 (LOAYZA, 2009)

Para efeito da definição das ações sísmicas a serem consideradas em projetos de construção civil, a NBR 15421 apresenta o zoneamento sísmico brasileiro dividido em cinco zonas sísmicas, as quais são apresentadas no Quadro 2. A Figura 2 também define as mesmas cinco zonas, porém, considerando a variação de  $a_g$ , aceleração sísmica horizontal padronizada, para terrenos da Classe B (conforme definido na Norma NBR 15421).

Zona sísmica	Valores de $a_g$
Zona 0	$a_g = 0,025g$
Zona 1	$0,025g \leq a_g \leq 0,05g$
Zona 2	$0,05g \leq a_g \leq 0,10g$
Zona 3	$0,10g \leq a_g \leq 0,15g$
Zona 4	$a_g \leq 0,15g$

Quadro 2 - Definição das zonas sísmicas (LIMA, 2008)

Observe-se que a Figura 2 reflete a baixa sismicidade do território brasileiro, que apresenta, na maior parte de seu território, valores de  $a_g$  inferiores a 0,025g.

<sup>1</sup> O ponto onde o sismo se origina é chamado de *hipocentro* ou *foco*, e geralmente fica em camadas profundas da crosta terrestre. O ponto na superfície da Terra diretamente acima do hipocentro é chamado de *epicentro*.

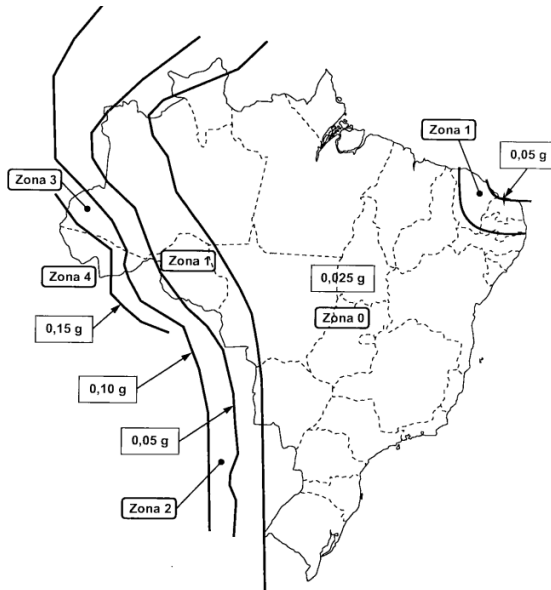


Figura 2 - Mapeamento da aceleração sísmica horizontal carecterística no Brasil para terrenos da Classe B ("Rocha"), (LIMA, 2008)

#### 4 I MÉTODOS DE CÁLCULO DE ESTABILIDADE DAS BARRAGENS

Segundo Cruz (2014), de modo a prever o comportamento sísmico da barragem pode-se utilizar de vários métodos de cálculo, o mais utilizado para modelagem e análise destas estruturas são métodos dinâmicos, que podem ser realizados com método dos elementos finitos, a fim de se obter resultados mais aproximados, envolvendo porém maior custo operacional. Estes métodos permitem analisar a estabilidade de taludes que levam em conta a ocorrência de deslocamentos permanentes no talude, como o método de Newmark.

Análises que envolvem o cálculo do fator de segurança de estruturas sujeitas a sismos também pode ser feita recorrendo-se a métodos pseudo-estáticos, os quais usam soluções de equilíbrio limite, onde tem-se que as forças de um esforço sísmico são representadas basicamente por componentes verticais e horizontais (coeficientes sísmicos) e, a massa de solo potencialmente instável é multiplicada por este coeficiente (FIORI, 2016).

A análise estrutural da barragem sujeita a ação sísmica tem por objetivo investigar a resposta da estrutura e da fundação quando sujeita a carregamentos dinâmicos, analisando por exemplo, a possibilidade de geração e posterior redistribuição dos excessos de poropressão em determinadas áreas, o que poderia levar ao efeito de perda de resistência ao cisalhamento do solo sob ação do carregamento (liquefação) ou ação de fenômenos erosivos (*piping*) em fissuras criadas pelo sismo, causando danos inerentes de uma provável ruptura da barragem.

## 5.1 METODOLOGIA

### 5.1 Modelagem da Barragem na condição estática, pseudo-estática e dinâmica

O presente trabalho apresenta uma comparação entre uma análise estática, pseudo-estática e dinâmica de uma barragem de rejeitos com alteamento realizado a montante, de modo a demonstrar o comportamento da barragem sujeita a sismicidades pouco acima das usuais no território brasileiro, podendo-se ter uma noção de como uma barragem de rejeitos de grande porte alteada pelo método a montante (assim como a maior parte das barragens de rejeito brasileiras) tende a se comportar quando sujeita a sismos.

O modelo, adaptado de Loayza (2009), apresenta simplificações geométricas estruturais, a fim de se adaptar as funcionalidades do software utilizado, sendo que estas foram realizadas de modo a não alterar de maneira significativa as condições da barragem (Figura 3).

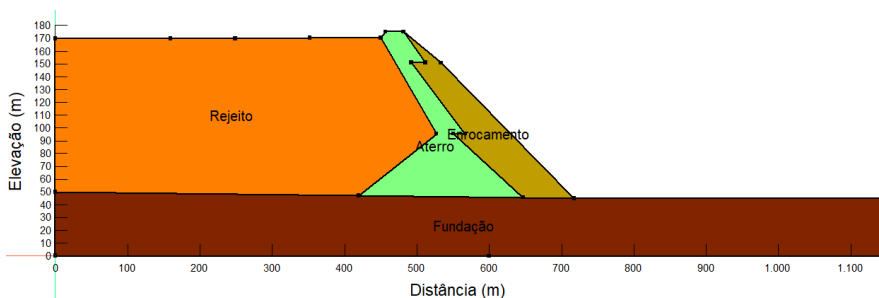


Figura 3 - Modelo geométrico da barragem de rejeitos alteada a montante

O depósito de rejeitos apresenta uma altura de 130 metros a partir da fundação. Considerou-se uma fundação composta por material aluvionar, o rejeito depositado a montante da barragem sendo composto de uma mistura de material argiloso, areia fina e silte, e para o enrocamento considerou-se um colúvio siltoso.

O comportamento da barragem foi simulado sob ação de carregamentos pseudo-estáticos e dinâmicos, segundo as zonas sísmicas 2 e 3, valores pouco usuais para a maior parte do território Brasileiro mas possíveis de ocorrer, onde adotou-se uma aceleração sísmica horizontal de 0,1g para a análise pseudo-estática e um acelerograma na análise dinâmica. Considerou-se também valores aproximados para as propriedades dos materiais da barragem, obtidos no trabalho de Loayza (2009) e também inferidos a partir das características dos mesmos, Quadro 3.



Propriedade do material	Fundação	Aterro	Enrrocamento	Rejeito
Peso específico (KN/m³)	18,75	20	20	15,56
Ângulo de atrito (°)	37	37	37	32
Coefficiente de Poisson	0,2	0,2	0,15	0,3
Condutividade hidráulica (m/s)	5,00E-05	3,83E-07	8,47E-03	3,62E-07
Índice de vazios	0,6	0,55	0,5	0,8
Porosidade	0,375	0,375	0,333	0,444
Considerações para todos os materiais				
<i>Módulo de Cisalhamento Estático (<math>G_{max}</math>) = função estimada pela software a partir de materiais padrões que melhor se assemelham aos utilizados no projeto e dos dados de Loayza (2009).</i>				
- Coeficiente de amortecimento = 0,1 (10%)				
- Coesão considerada nula				

Quadro 3 - Propriedades dos materiais (adaptação de Loayza, 2009)

Fez-se inicialmente uma análise estática através de um software específico para abordagens de problemas geotécnicos, considerou-se neste um modelo elasto-plástico de Mohr-Coulomb para todos os materiais, analisando os dados a partir do modelo teórico de Morgenstern-Price, considerando uma função meio-seno. Os parâmetros de fluxo de água na barragem foram determinados antes de se realizar a análise de estabilidade, sendo considerado um fluxo permanente utilizando os parâmetros geotécnicos do Quadro 3 e funções padrões do software que mais se aproximassem dos materiais modelados, definindo deste modo as funções teor de umidade volumétrica e condutividade hidráulica.

Para a análise pseudo-estática considerou-se apenas a atuação de um sismo de 0,1g no cálculo de equilíbrio-limite, onde o sismo é inserido nos cálculos como um esforço sísmico horizontal.

Para análise dinâmica, fez-se um modelo para o estado de tensões *in situ*, antes da ocorrência do evento sísmico, e, um modelo para a condição pós sismo, considerando um sismo de 0,1g atuando por 10 segundos. Os valores da magnitude foram obtidos a partir de registros históricos de acelerações horizontais (Figura 4).

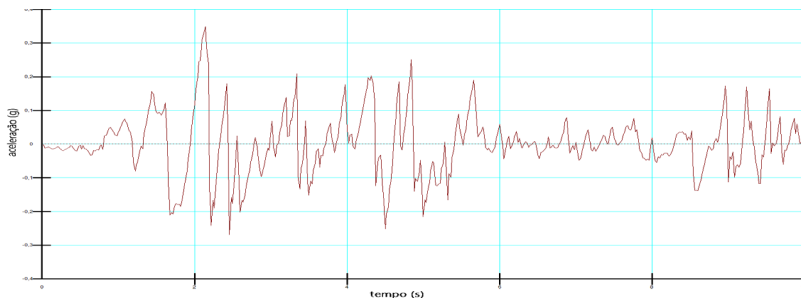


Figura 4 – Registro de aceleração horizontal de 0,1g atuando por 10 segundos.

Utilizou-se da análise linear elástica para modelamento das propriedades dos materiais.

## 6 | RESULTADOS

Diferente dos estudos realizados em (Silva *et al.*, 2018), nesta versão expandida foi possível realizar menos simplificações nas modelagens numéricas, pois utilizou-se uma versão mais completa do software de análise. Logo, houve a possibilidade de realizar as seguintes alterações: modelagem de mais materiais (considerando aterro e enrocamento separadamente); consideração das distribuições de poropressões determinadas numericamente pelo software, a partir dos parâmetros hidráulicos dos materiais (funções de teor de umidade volumétrica e condutividade hidráulica); melhor discretização da malha do modelo de elementos finitos a fim de tornar mais representativo o modelo e a transmissão de ondas sísmicas através do maciço e do solo, e estimativa da variação dos módulos de cisalhamento ( $G_{\max}$ ) em função das tensões efetivas na análise dinâmica.

Levando em conta a metodologia supracitada, o fator de segurança foi obtido pelo método de Morgenstern-Price na condição estática,  $FS_{\text{estático}} = 1,35$  (Fig. 5.a), e na condição pseudo-estática,  $FS_{\text{p-est}} = 1,07$  (Fig. 5.b). Geralmente empregada-se o valor limite de 1,1 para análise de estabilidade pseudo-estática, logo, vê-se que o valor está abaixo do requerido, necessitando da realização de análises dinâmicas.

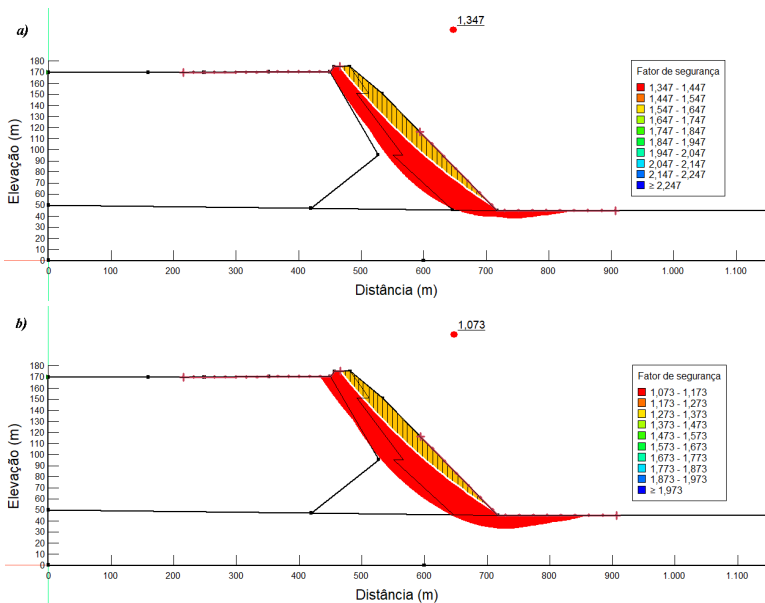


Figura 5 – Fator de segurança pelo método de Morgenstern Price: a) análise estática; b) análise pseudo-estática.

Para a análise estrutural da barragem dinâmica, buscou-se investigar: a possibilidade de geração de excessos de poropressões em determinadas áreas (liquefação); possibilidade de amplificação da aceleração horizontal em pontos estratégicos da barragem; deslocamento horizontal e vertical; estabilidade dos taludes e fator de segurança pós-sismo.

A análise dos resultados da razão de tensão cíclica (CSR) está diretamente relacionada com a possibilidade de liquefação. Em geral, quanto maior o CSR, maior a possibilidade de liquefação. Considerou-se apenas possibilidade de ocorrência de liquefação na bacia de rejeitos e na fundação, pois são materiais com alta possibilidade de saturação. De acordo com a Figura 6, percebe-se que a zona mais suscetível a aumento de poropressões devido ao abalo sísmico encontra-se a jusante da fundação, com elevados valores de CSR, o que favorece a possibilidade de ocorrência de liquefação (maiores que 1,0 em algumas zonas).

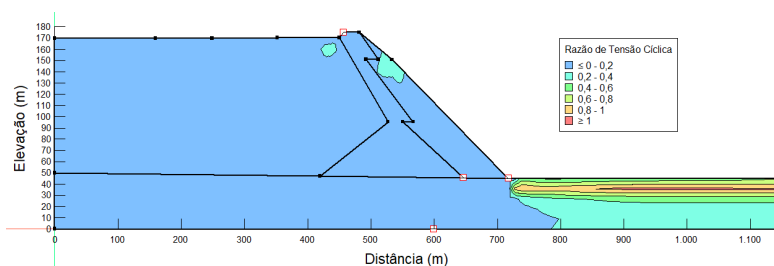


Figura 6 – Razão de tensão cíclica (CSR) apresentando as zonas com maior possibilidade de ocorrência de liquefação.

Assim como apresentado na Figura 7 fez-se mensuração de pontos de registro histórico de sismicidade na crista (1), junto ao dreno central na base da fundação (2), no pé da barragem (3) e em um ponto abaixo na fundação (4), buscando analisar amplificações nas acelerações horizontais, que poderiam causar danos na estrutura da barragem. Percebe-se pelos gráficos que as acelerações horizontais de pico possuem valores elevados na fundação a jusante da barragem, indicando amplificação nestas zonas, enquanto que, avaliando apenas os pontos de registros históricos dos 10 segundos de atuação do sismo, adicionados na simulação, tem-se a maior amplificação de aceleração horizontal observada na crista (0,2g).

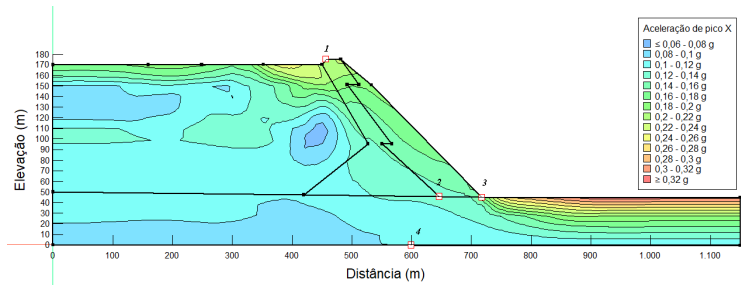


Figura 8 - Aceleração horizontal referente ao sismo de 0,1g

A partir da análise dinâmica (pós-sísmica) obteve-se um  $FS_{\text{dinâmico\_p.s.}} = 1,37$ , sendo que pela análise de estabilidade realizada pelo método de Newmark, foi possível obter a variação do FS com relação ao tempo, onde o menor FS encontrado no tempo de atuação do sismo foi de  $FS_{\text{dinâmico\_min}} = 1,21$ . Os resultados podem ser observados na Figura 9.

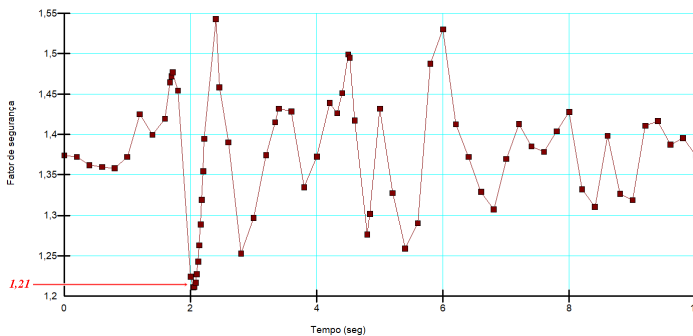


Figura 9 - Fator de segurança vs tempo (análise dinâmica)

Após os 10 segundos de sismo, toda a estrutura da barragem apresentou deslocamentos e deformações, os quais podem ser analisados no Quadro 4 junto aos outros valores de parâmetros observados.

Parâmetros	Análise dinâmica	Análise pseudo-estática	Análise estática
Razão de Tensão Cíclica (CSR)	0,020 à 1,050	-	-
Deslocamento Horizontal	0,050 m à 0,060 m	-	-
Deslocamento Vertical	-0,002 m à 0,002 m	-	-
Aceleração Horizontal de pico	0,070 g à 0,330 g	-	-
Fator de Segurança Mínimo	1,21 (durante o sismo) 1,37 (pós sismo)	1,07	1,35

Quadro 4 - Resultados para o modelo em função de diversos parâmetros

Percebe-se, a partir dos resultados apresentados para o caso estudado neste trabalho, que o fator de segurança mesmo sendo maior que o esperado para um ruptura ( $FS \geq 1$ ), ainda tem-se valores abaixo dos requeridos pelas normas de segurança de barragens em alguns casos, como na condição pseudo-estática, além disso, em uma simulação considerando parâmetros geotécnicos não drenados, o FS poderá apresentar valores bem menores dos que os obtidos neste trabalho, devendo assim aprofundar ainda mais os estudos com foco na obtenção de resultados significativos.

Pelos resultados obtidos neste trabalho, percebe-se que existe a possibilidade de ocorrência de liquefação na fundação a jusante, da barragem em estudo, quando se tem a atuação de um sismo de 0,1g e 10 segundos, indicando que deve-se utilizar também outras análises para avaliar a estabilidade dinâmica da barragem.

Um ponto interessante seria a realização de uma análise probabilística de estabilidade, contando que se tenha dados suficientes para tal, o que poderá auxiliar em um melhor entendimento do comportamento deste tipo de barragem de rejeitos, permitindo realizar uma análise de riscos e abordar melhores formas de se atuar na previsão de rupturas e acidentes com barragens.

## 7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho buscou apresentar uma perspectiva sobre a segurança de barragens de rejeito no território brasileiro, por meio de um estudo de caso, na hipótese de ocorrência de um carregamento sísmico aplicado a esta estrutura, considerando um valor para aceleração horizontal da gravidade de 0,1g. De acordo com os resultados apresentados pelo estudo de caso, comparando-se os fatores de segurança para análises estática, pseudo-estática e dinâmica (durante e pós-sismo), obteve-se  $FS_{estática} = 1,35$ ,  $FS_{p-est} = 1,07$ ,  $FS_{dinâmico_p.s.} = 1,37$ ,  $FS_{dinâmico_min} = 1,21$ . Assim percebe-se que não há ruptura da barragem, para o estudo de caso proposto, porém não tem-se adequabilidade com as normas de segurança de barragens de rejeito ( $FS_{p-est} < 1,1$ ). Outro ponto a se observar são as ampliações nas acelerações horizontais tanto na crista quanto na base a jusante da fundação, além da ocorrência de liquefação nesta zona a jusante na fundação. Apesar da proibição do método de alteamento a montante de barragens de rejeito em todo território brasileiro, ainda se tem um grande número de barragens com estas características presentes nos empreendimentos de mineração, sendo de fundamental importância a realização de estudos que mostrem como estas tendem a se comportar sob diferentes aspectos operacionais, contribuindo para melhores práticas requeridas internacionalmente.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 15421:2006. **Projeto de estruturas resistentes a sismos – Procedimento**. Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2006.

ALBUQUERQUE FILHO, L.H. **Análise do comportamento geotécnico de barragens de rejeitos de minério de ferro através de ensaios de piezocone**. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, 2004.

AMORIM, E. F. **Efeitos do Processo de Deposição no Comportamento de Rejeitos da Mineração de Ouro**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2007.

ASSUMPTÃO, M. et al. **Sismicidade e estrutura interna da Terra**. In: TEIXEIRA, W. et al. org. Decifrando a Terra. Oficina de Textos, São Paulo, 2000. 568p. il. p. 47-50.

CRUZ, P. T. et al. **Barragens de Enrocamento com Face de Concreto**. Oficina de Textos, São Paulo, 2014.

DUARTE, A. P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no Estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte/MG, 2008.

FIGUEIREDO, M. M. **Estudo de metodologias alternativas de disposição de rejeitos para a mineração Casa de Pedra – Congonhas/MG**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geotécnica da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto/MG, 2007.

FIORI, A. P. **Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas**. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil, 2016.

LIMA, S. S.; Santos, S. H. C. **Análise dinâmica das estruturas**. Editora Ciência Moderna Ltda. Rio de Janeiro/RJ, 2008, p.125 – 137.

LOAYZA, F. H. **Modelagem do comportamento pós-sismo de uma barragem de rejeito**. Dissertação do Programa de Pós-Graduação (Mestrado) em Engenharia Civil da PUC-Rio, Rio de Janeiro/RJ, 2009.

REZENDE, D. A. D. **Análise probabilística de estabilidade de taludes em barragens de rejeitos**. Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 2013.

SILVA, G. G.; SILVA, W. A.; FILHO, A. N. Z. & COUTINHO, M. H. B. **Análise estrutural de barragens de rejeito considerando a ação sísmica**. V SPPGI - Seminário de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação da Regional Catalão, da Universidade Federal de Goiás. ANAIS, E-Book Tecnologias em Pesquisa – Engenharias – Vol. 2. ISBN 978-85-462-1409-9, 2018.

SPITZ, K.; TRUDINGER, J. **Mining and the Environment: From Ore to Metal**. P.O.Box 447, 2300 AK Leiden, The Netherlands, 2009.

## ANÁLISE DE TENSÃO E COMPARAÇÃO DE PROCESSO DE FABRICAÇÃO EM ROD END

*Data de aceite: 01/03/2021*

*Data de submissão: 08/12/2020*

### **Jói da Silva Theis**

Universidade Luterana do Brasil  
Canoas – RS  
<http://lattes.cnpq.br/4947007354152553>

### **Luiz Carlos Gertz**

Universidade Luterana do Brasil  
Canoas – RS  
<http://lattes.cnpq.br/1346776082936013>

### **André Cervieri**

Universidade Luterana do Brasil  
Canoas – RS  
<http://lattes.cnpq.br/4994685713102210>

### **Antonio Flavio Aires Rodrigues**

Universidade Luterana do Brasil  
Canoas – RS  
<http://lattes.cnpq.br/1989930961195796>

### **Gustavo Pizarro Meneghello**

Viemar Automotive  
Porto Alegre - RS  
<http://lattes.cnpq.br/6348294406656087>

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho é avaliar e propor a substituição do processo de fabricação, da geometria e do material do Rod End, contemplando um modelo matemático que visa propiciar a possibilidade de simulações com novos materiais e geometrias para atender as necessidades características de cada utilização, seja ela: competição, agrícola, aviação, entre

outros, bem como a validação do projeto atual. Procurou-se entender a distribuição das tensões atuantes e, de posse destes dados, avaliar alternativas de fabricação, analisar propostas de geometria e matérias-primas. Neste trabalho, foram utilizados extensômetros de resistência elétrica, que consistem em dispositivos que transformam pequenas variações nas dimensões em variações equivalentes em sua resistência elétrica. Para garantir um sistema de medição confiável, foi construída uma placa amplificadora de sinais, os locais de colagem dos extensômetros foram definidos com o auxílio de software de simulação numérica, foi utilizado software para aquisição e armazenamento dos dados e o ensaio foi realizado em máquina universal de ensaios. Os dados obtidos foram tratados e possibilitaram o estabelecimento dos carregamentos, sendo possível avaliar os esforços e tensões resultantes. Recursos computacionais foram utilizados para desenhar os componentes e dispositivos. Os ensaios foram realizados para determinar a resistência à tração com diferentes materiais e as tensões principais com o objetivo de calibrar o modelo numérico. As medições foram executadas em laboratório, utilizando máquina universal de ensaios. Realizando a simulação em software e comparando com os valores encontrados na medição, a diferença máxima encontrada foi de até 4 MPa. Foi possível realizar comparações entre os processos de fabricação, identificando que o melhor a ser utilizado neste componente é a fabricação por microfusão, que resultou em um aumento de até 14% de resistência à tração.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rod End, Extensômetro,

## TENSION ANALYSIS AND COMPARISON OF ROD END MANUFACTURING PROCESS

**ABSTRACT:** The objective of this work is to evaluate and propose the replacement of the manufacturing process, geometry and material of the Rod End, contemplating a mathematical model that aims to provide the possibility of simulations with new materials and geometries to meet the characteristic needs of each use, whether it: competition, agriculture, aviation, among others, as well as the validation of the current project. We tried to understand the distribution of the active stresses and, having these data, evaluate manufacturing alternatives, analyze proposals for geometry and raw materials. In this work, electrical resistance extensometers were used, which consist of devices that transform small variations in dimensions into equivalent variations in their electrical resistance. To ensure a reliable measurement system, a signal amplifier plate was built, the glue locations of the extensometers were defined with the aid of numerical simulation software, software was used for data acquisition and storage, and the test was performed on a universal machine. of trials. The obtained data were treated and made possible the establishment of the loads, being possible to evaluate the efforts and resulting tensions. Computational resources were used to design the components and devices. The tests were carried out to determine the tensile strength with different materials and the main stresses in order to calibrate the numerical model. The measurements were performed in the laboratory, using a universal testing machine. Performing the simulation in software and comparing with the values found in the measurement, the maximum difference found was up to 4 MPa. It was possible to make comparisons between the manufacturing processes, identifying that the best to be used in this component is the manufacture by microfusion, which resulted in an increase of up to 14% in tensile strength.

**KEYWORDS:** Rod End, Extensometer, Investment casting, Forging.

### 1 | INTRODUÇÃO

O *rod end* é um tipo de conexão amplamente utilizado em sistemas de suspensão de protótipos automotivos de competição, devido a facilidade de construção das balanças e a possibilidade de realizar regulagens de geometria no sistema de suspensão e direção. Também possui seu uso difundido na indústria de aviação, tendo como exemplo, uso na articulação de trens de pouso de aeronaves.

O produto em estudo é fabricado em Aço SAE 4140 através do processo de forjamento, este processo demanda alto investimento em máquinas, ferramentas e em processos subsequentes de acabamento (usinagem). Gerando custos desnecessários, tornando o produto caro. Devido a isto buscou-se alternativas de processos de fabricação.

Este componente em específico, avaliado neste trabalho, realiza a conexão entre a balança inferior da suspensão traseira e o flange da roda traseira de um veículo utilizado na Stock Light, principal categoria de acesso à Stock Car. O veículo que utiliza o *rod end* em análise é utilizado em treinos e em tomadas de tempo para volta rápida. O motor tem



8 cilindros, com 16 válvulas, volume de 5,7 litros e 360 hp, montado na dianteira. Possui tração traseira e suspensão independente nas quatro rodas, com bandejas em configuração duplo A e barras estabilizadoras.

## 2 | ORIGEM DO ROD END

Segundo Howard (1999), caso seja necessário definir a diferença essencial entre carros de competição e carros de estrada, a palavra seria conforto. Os sistemas de suspensão de carros de rua requerem uma condução macia, com isolamento de ruídos e vibrações originados pelo contato pneu/solo. Desta forma, são usados componentes elastoméricos para atender estas necessidades. Já no contexto de carros de competição, o controle preciso do sistema de direção é primordial.

Avaliando carros de competição, particularmente de fórmulas sênior, encontra-se por toda parte o uso de *rod ends*. Este componente é utilizado para articular os braços de suspensão, em cada extremidade da barra estabilizadora, nos pedais, em qualquer lugar que exija baixo atrito, possua pouco espaço de trabalho, não admita folgas e, acima de tudo, seja necessário uma articulação ajustável.

O autor menciona que no final dos anos 1950 início dos anos 1960, mesmo os carros de fórmula 1, usavam muitas articulações de borracha em suas suspensões. Ainda que a borracha fosse um material que restringisse o movimento, havia o desejo de eliminar o uso deste tipo de componente da suspensão nestes carros.

Em base, o *rod end* é simples, composto por dois ou no máximo três componentes principais: uma esfera perfurada com polos achatados que forma a articulação; um alojamento que envolve parte da esfera e, em casos mais sofisticados, possui um revestimento auto-lubrificante baseado em PTFE - Politetrafluoretileno (Teflon). Este, sendo inserido entre a esfera e o alojamento, garantindo assim baixo atrito. Um dos pontos que atrai o projetista de carros de competição para o uso do *rod end* é a capacidade de suportar cargas radiais altas, aliado a presença de rosca, macho ou fêmea, em uma das suas extremidades. Desta forma, possuindo um inerente ajuste, tornando-se uma articulação mais adequada.

### 2.1 Utilização do Rod End

O *rod end* é um tipo de conexão habitualmente encontrado em sistemas de suspensão de protótipos automotivos, é um componente crítico e responsável por conectar a suspensão ao carro ou conectar as rodas à direção, ou ambos. Tem o uso difundido em diversos segmentos, como: aviação, setor agrícola, industrial, suspensão de veículos de competição, entre outros. Na figura abaixo um exemplo.



Figura 1 – Rod End  
Fonte: Aurorabearing (2016)

## 3 | PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

### 3.1 Forjamento

O termo forjamento é utilizado para designar a família de processos de fabricação mecânica, através da deformação plástica na massa, nas quais a alteração de forma é realizada através de forças de compressão geradas por ferramentas atuadas por martelos, prensas hidráulicas, mecânicas ou de fricção (RODRIGUES; MARTINS, 2010).

Através do forjamento é possível fabricar peças com dimensões e formas geométricas diversificadas podendo utilizar diversos materiais metálicos. Merecem destaque, entre as principais características mecânicas: elevada resistência à fadiga e a esforços de impacto.

Os processos de forjamento são classificados de acordo com a temperatura que se realizam, sendo: a frio, a morno e a quente. O forjamento também é classificado pelo tipo de ferramenta que é utilizada no processo.

### 3.2 Microfusão (Investment casting)

Conforme descrito no ASM Internacional Handbook Committee, vol. 15 (1998), o processo de microfusão é conhecido há pelo menos 6000 anos, mas seu uso em processos de fundição comercial cresceu durante a metade do século XX. O processo também é conhecido como fundição de precisão ou fundição por cera perdida. O mesmo é caracterizado por apresentar alta precisão de dimensões e tolerâncias justas, ainda para completar, apresenta superfícies mais lisas e de alta integridade que podem, dependendo da aplicação, exigir pouca ou nenhuma usinagem.

## 4 | RESULTADOS

### 4.1 Ensaio de Tração

Foram realizados ensaios de tração com componentes *rod end* fabricados por diferentes métodos de fabricação (fabricação própria) e com *rod end* encontrado no mercado, considerado como referência.

A tabela 1 descreve, em cada amostra avaliada, o processo de fabricação e matéria-prima utilizada.

Amostra	Matéria-prima
Fabricante considerado referência	AISI 4340
<i>Rod end</i> forjado – fabricação própria	AISI 4140
<i>Rod end</i> Microfundido sem reposição de carbono (maior taxa de resfriamento) – fabricação própria	AISI 4140
<i>Rod end</i> Microfundido com reposição de carbono (maior taxa de resfriamento) – fabricação própria	AISI 4140

Tabela 1 – Gráfico comparativo de Resistência à tração

Nos ensaios de tração para determinação da resistência à tração, foram obtidos os dados descritos na figura 2. Os valores obtidos representam a média de 3 amostras e o valor percentual é comparativo com o componente identificado como referência.

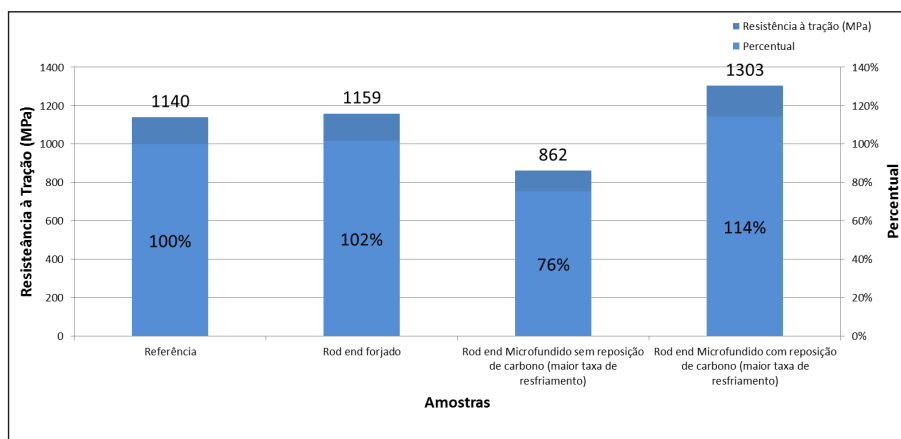


Figura 2 – Gráfico comparativo de resistência à tração

## 4.2 Ensaio para determinação da tensão principal

Para determinar as tensões principais foram utilizados extensômetros de resistência elétrica triaxiais. Para definição de quantos extensômetros utilizar e os locais de colagem o componente foi submetido a análise de tensão com o auxílio de software de simulação numérica, fora utilizado o Ansys. Abaixo figura que exemplifica local de colagem dos extensômetros.

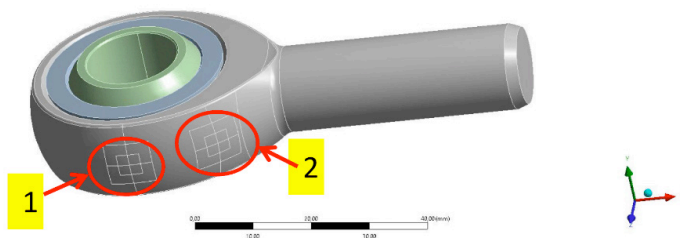


Figura 3 – Local de fixação dos extensômetros.

## 4.3 Calibração do modelo numérico

Com os valores de tensão calculados e os valores medidos, iniciou-se a avaliação do modelo numérico através do auxílio do software Ansys. Na figura 4, pode-se visualizar o modelo numérico utilizado nas avaliações.

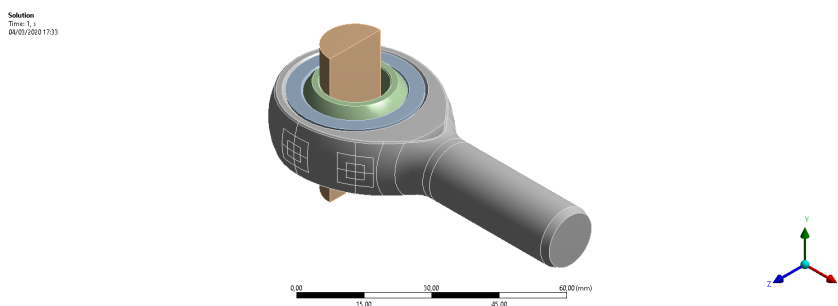


Figura 4 – Modelo numérico do componente estudado

Realizando a simulação no software e comparando com os valores encontrados na medição, foi estabelecida a relação a seguir:

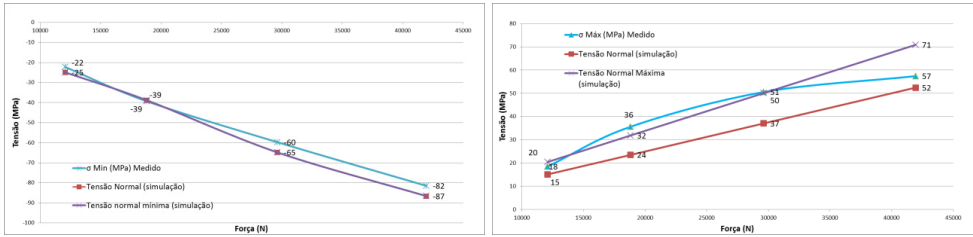


Figura 5 – Comparação entre tensão calculada e tensão obtida em software para roseta 1 e 2, respectivamente.

#### 4.4 Avaliação de novas geometrias

Com o modelo matemático calibrado, iniciou-se a etapa de avaliação de novas alternativas de geometria para aumento de resistência mecânica do componente. Na figura 6 apresenta-se a avaliação do raio.

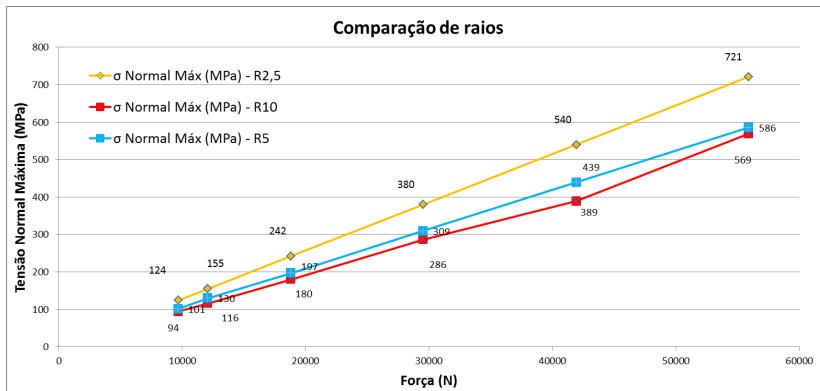


Figura 6 – Comparação da Tensão com diferentes raios

Aumentando em 1mm o diâmetro do alojamento da esfera, região onde ocorre a ruptura nos ensaios de tração, obteve-se o resultado apresentado na figura 7.

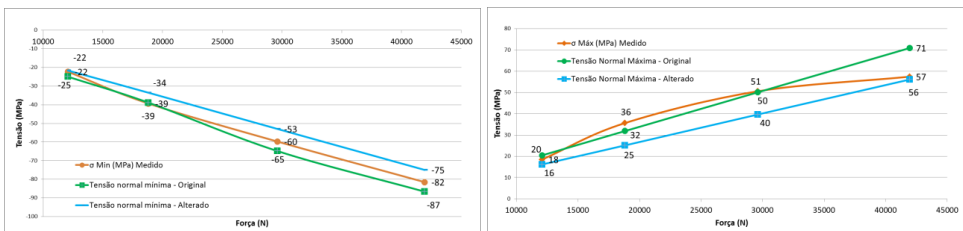


Figura 7 – Comparação da tensão no diâmetro do alojamento para roseta 1 e 2, respectivamente.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que através dos ensaios realizados foi possível determinar as tensões principais em pontos críticos do *rod end*, calibrar satisfatoriamente o modelo numérico e validar o projeto existente. Com estes dados avaliaram-se novas propostas de geometria.

Foram construídos protótipos através do processo de microfusão para comparação com o atual projeto e a peça de referência. Realizaram-se comparações entre os processos, identificando que o melhor para ser utilizado neste componente é o microfundido com reposição de carbono, que resultou em um aumento de até 14% de resistência à tração em comparação a peça forjada. Foi possível identificar que o processo de microfusão apresenta uma tolerância dimensional e um acabamento superior se comparado ao processo de forjamento a quente.

## REFERÊNCIAS

ASM METALS HANDBOOK, vol.15, **Casting**, 9ª ed., ASM Int., 1998

MCCRORY, J., Estados Unidos da América: Ed. Aurora Bearing Company. Disponível em: <<http://www.aurorabearing.com/pdf/rod-ends-what-you-need-to-know.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2016.

HOWARD, K.; MOTORSPORT. Londres: Ed. Motorsportmagazine. Disponível em: <<http://www.motorsportmagazine.com/archive/article/august-1999/71/rod-end-bearing>>. Acesso em: 15 out. 2016.

RODRIGUES, J.; MARTINS, P. **Tecnologia Mecânica**. Tecnologia da Deformação Plástica. Lisboa: Escola Editora, 2010. 2 v.

## INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE TRATAMENTO TÉRMICO NO DESEMPENHO FOTOCATALÍTICO DE FIBRAS DE $\text{TiO}_2$

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 23/01/2021

### Luana Góes Soares da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre – RS  
<http://lattes.cnpq.br/8474215025680480>

### Annelise Kopp Alves

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre – RS  
<http://lattes.cnpq.br/0064626732086273>

**RESUMO:** Os processos fotocatalíticos começaram a ser estudados a partir da década de 70, quando Fujishima e Honda relataram a fotodecomposição da água em eletrodo de  $\text{TiO}_2$  irradiado em uma célula fotoeletroquímica, gerando hidrogênio e oxigênio. O seu mecanismo de atuação consiste na formação de radicais hidroxila (\*OH), agente altamente oxidante. Os radicais hidroxila podem reagir com uma série de classes de compostos possibilitando sua completa mineralização, para compostos inócuos como  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , em razão de sua alta reatividade ( $E_0 = 2,8 \text{ V}$ ). O princípio da fotocatalise heterogênea envolve a ativação de um semicondutor, por luz solar ou artificial. O dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) é um dos principais semicondutores empregados em fotocatalise. No presente trabalho o propóxido de titânio foi empregado como precursor na formação de fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  utilizando-se a técnica *electrospinning*. As fibras assim obtidas foram então tratadas termicamente

até a temperatura de  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ , a uma taxa de aquecimento de  $1,4 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ , a fim de promover a formação do óxido de titânio. Os materiais sintetizados foram caracterizados visando a determinação das fases presentes por difração de raios X (DRX), morfologia por microscopia eletrônica de varredura (MEV), determinação da energia de *band gap*, e, a avaliação da atividade fotocatalítica. Os resultados obtidos indicam que as fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  tratadas a temperatura de  $650 \text{ }^\circ\text{C}$  demonstraram serem mais eficientes na degradação do corante alaranjado de metila, ou seja, apresentaram maior fotoatividade, devido a presença da fase cristalina anatase.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fibras Nanoestruturadas, *Electrospinning*, Processos Fotocatalíticos, Dióxido de Titânio ( $\text{TiO}_2$ ), Fotoatividade.

### INFLUENCE OF THE HEAT TREATMENT TEMPERATURE ON THE PHOTOCATALYTIC PERFORMANCE OF $\text{TiO}_2$ FIBERS

**ABSTRACT:** Photocatalytic processes began to be studied in the 1970s, when Fujishima and Honda reported the photodecomposition of water in a  $\text{TiO}_2$  electrode irradiated in a photoelectrochemical cell, generating hydrogen and oxygen. Its mechanism of action consists of the formation of hydroxyl radicals (\*OH), a highly oxidizing agent. Hydroxyl radicals can react with a series of classes of compounds allowing their complete mineralization, for innocuous compounds such as  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}$ , due to their high reactivity ( $E_0=2.8\text{V}$ ). The

principle of heterogeneous photocatalysis involves the activation of a semiconductor, by sunlight or artificial light. Titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ) is one of the main semiconductors used in photocatalysis. In the present work, titanium propoxide was used as a precursor in the formation of nanostructured  $\text{TiO}_2$  fibers using the electrospinning technique. The fibers thus obtained were then heat treated to a temperature of 800 °C, at a heating rate of 1.4 °C/h, in order to promote the formation of titanium oxide. The synthesized materials were characterized in order to determine the phases present by X-ray diffraction (XRD), morphology by scanning electron microscopy (SEM), determination of the band gap energy, and the evaluation of the photocatalytic activity. The results obtained indicate that the nanostructured fibers of  $\text{TiO}_2$  treated at a temperature of 650 °C demonstrated to be more efficient in the degradation of the methyl orange dye, that is, they presented greater photoactivity, due to the presence of the crystalline phase anatase.

**KEYWORDS:** Nanostructured Fibers, Electrospinning, Photocatalytic Processes, Titanium Dioxide ( $\text{TiO}_2$ ), Photoactivity.

## 1 | INTRODUÇÃO

A fotocatalise faz parte dos processos oxidativos avançados (POA's), onde uma reação química é acelerada na presença de um catalisador que é ativado na presença de luz. O dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) é um dos fotocatalisadores mais comumente utilizados (HAN et al., 2016).

A base de funcionamento dos Processos Oxidativos Avançados (POA'S) reside na geração de radicais hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ), com alto poder oxidante, e na completa mineralização de diversos compostos orgânicos através da reação com este radical. Esses processos têm despertado atenção, por exemplo, devido ao aumento da complexidade e dificuldade no tratamento de águas residuárias, o que tem sido motivo para a busca de novas metodologias visando à remediação desses rejeitos (FIOREZE et al., 2014).

A ação dos radicais hidroxila ocorre pela adição à dupla ligação ou através da retirada do átomo de hidrogênio em moléculas orgânicas alifáticas. Oxidantes como o ozônio e o peróxido de hidrogênio, associados à radiação ultravioleta (UV) ou visível (Vis) e catalisadores ou semicondutores, são reações responsáveis pela formação dos radicais hidroxila. A interação dessas reações resulta na formação de radicais orgânicos, que reagem com oxigênio, originando reações de degradação (FIOREZE et al., 2014).

Os POA's podem ser divididos em processos homogêneos e heterogêneos

Estudos envolvendo o uso da fotocatalise começaram a surgir no início da década de 70. Em um destes trabalhos, alguns autores produziram hidrogênio e oxigênio através da fotodecomposição da água em eletrodo de  $\text{TiO}_2$ , emitido em uma célula fotoeletroquímica. Foi a partir destes estudos que a fotocatalise tornou-se uma opção bastante eficiente na destruição de poluentes (FUJISHIMA et al., 1972).

A Fotocatalise Heterogênea utilizando o  $\text{TiO}_2$  como semiconductor vem sendo usada com êxito na destruição de algumas classes de compostos como, por exemplo, alcanos,



haloalcanos, alcoóis alifáticos, aromáticos, fenóis, corantes (Rodamina B, alaranjado de metila e azul de metileno), dentre outras classes de compostos (DONG et al., 2011).

A utilização da fotocatalise na degradação de poluentes, além de não gerar subprodutos também é menos dispendiosa quando comparada a outros processos, que também são amplamente empregados na degradação dos compostos tóxicos, como a incineração e os tratamentos biológico, mas não são tão vantajosos quanto á fotocatalise (NOGUEIRA et al., 1998).

Neste trabalho fibras nanoestruturadas de dióxido de titânio foram usadas como catalisadores em fotocatalise heterogênea, devido as sua alta atividade, grande área de superfície, baixo peso e baixa tendência de aglomeração. Assim, o presente trabalho pretende avaliar a atividade fotocatalítica de fibras de óxido de titânio, tratadas termicamente em diferentes temperaturas e relacionar tal propriedade à sua composição e às suas características morfológicas.

## 2 I MATERIAIS E MÉTODOS

A síntese das fibras nanoestruturadas de dióxido de titânio envolveu as etapas demonstradas na Figura 1:

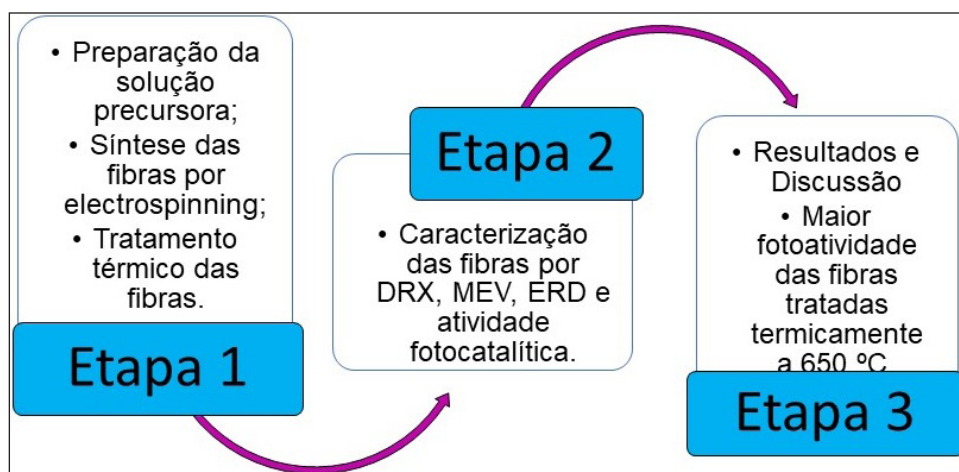


Figura 1. Esquema das etapas envolvidas na execução do trabalho.

Fonte. Próprias autoras.

### 2.1 Reagentes químicos

Para a síntese das fibras nanoestruturadas de  $TiO_2$  por *electrospinning* foram utilizados os seguintes precursores na preparação das soluções precursoras: o propóxido

de titânio (Sigma-Aldrich), ácido acético glacial (Neon), polivinilpirrolidona (Sigma-Aldrich), e, o padrão  $\text{TiO}_2$ -P25 (pó comercial Evonik).

## 2.2 *Electrospinning*

As fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  foram obtidas através do preparo de soluções precursoras contendo: 2,5 mL de propóxido de titânio (TIP), 2,0 mL de ácido acético glacial e 5,0 mL de uma solução alcoólica contendo 10% em peso de polivinilpirrolidona (PVP). Em seguida uma seringa plástica de 5 mL, conectada a uma agulha hipodérmica de aço inox, foi preenchida com esta solução precursora. A agulha foi conectada à fonte de alta tensão. A distância entre a ponta da agulha e do coletor cilíndrico foi de 12 cm. Aplicou-se uma tensão de 13,5 kV. Uma bomba de fusão controlou o fluxo da solução precursora (1,8 mL/h). As fibras nanoestruturadas foram coletadas a cada 30 minutos, por um período de 4 horas.

Para a síntese das fibras por *electrospinning* foi montado um equipamento conforme mostra a Figura 2.

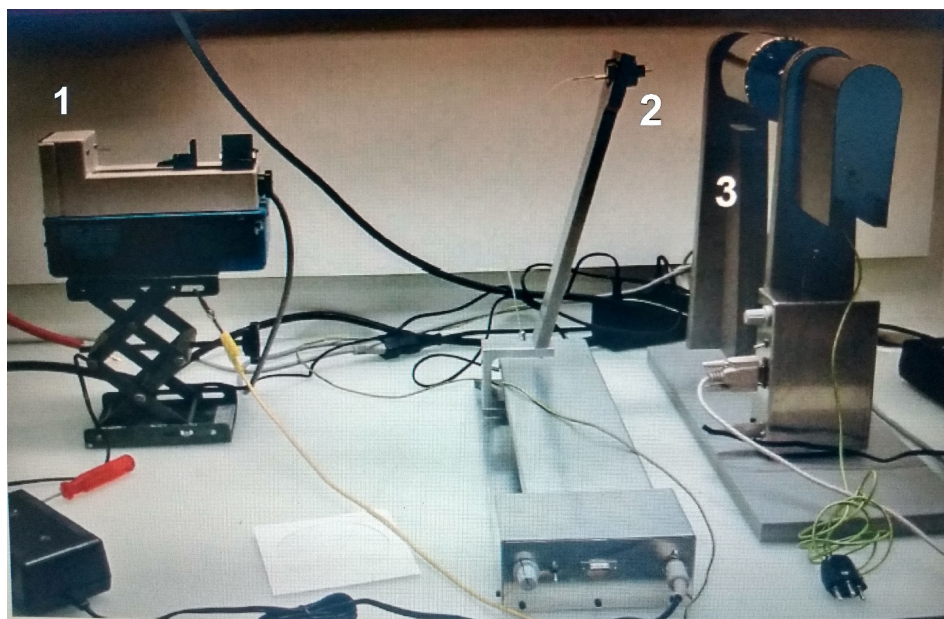


Figura 2. Equipamento para a síntese por *electrospinning*. (1) Bomba de infusão; (2) Conjunto seringa/agulha e (3) Anteparo/Coletor.

Fonte. (ALVES, 2008).

## 2.3 Tratamento térmico

As fibras obtidas foram submetidas a um tratamento térmico em um forno elétrico, tipo mufla (da marca Sanchis) em temperaturas de 650 °C, 700 °C, 750 °C e 800 °C, com patamar de 1 hora e taxa de aquecimento de 1,4 °C/min, a fim de remover o material polimérico e formar as fases cristalinas. A Figura 3 mostra as fibras de TiO<sub>2</sub> obtidas por *electrospinning*, após o tratamento térmico a 650 °C.



Figura 3. Imagem fotográfica das fibras de TiO<sub>2</sub> obtidas por *electrospinning*, após o tratamento térmico a 650 °C.

Fonte. Próprias autoras.

## 2.4 Métodos de caracterização

As análises de difração de raio X foram realizadas por um difratômetro da marca PHILIPS, modelo X'PERT, com radiação CuK $\alpha$  e uma tensão de 40 KV, corrente de 40 mA, velocidade de 0,05°/min e com um passo de 1 seg em uma faixa de 5 a 75°. A morfologia das fibras foi observada através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), o equipamento utilizado foi um microscópio eletrônico de varredura JEOL JSM 6060. O diâmetro médio das fibras foi estimado com o auxílio do programa *UTHSCSA ImageTool*. Fez-se 10 medições de cada imagem obtida por MEV. A energia de band gap foi analisada através de um espectrofotômetro de feixe duplo UV-Vis- NIR (Cary 5000), com uma esfera integradora no modo de reflexão difusa de luz. O processo de fotocatalise foi realizado em um reator fotocatalítico através da descoloração com o tempo de 125 mL de uma solução 20 ppm do corante alaranjado de metila.

O experimento foi realizado mediante a mistura de 50 mg de fibras nanoestruturadas de TiO<sub>2</sub> tratadas entre 650 °C e 800 °C, adicionadas a 125 ml da solução de alaranjado de

metila (20 ppm). As misturas foram colocadas no ultra-som uma de cada vez, em um local escuro, por 15 minutos para homogeneização. A seguir, foi coletada uma amostra de 4 mL desta solução, e, antes do início de cada ensaio foi coletada uma alíquota de 4 mL de todas as soluções, definida como amostra inicial de referência (absorbância indicativa de concentração igual a 100% alaranjado de metila; tempo de reação de zero minutos). Esta primeira alíquota foi retirada antes da aplicação do sistema de luz, da circulação de água e do borbulhamento de ar.

A solução foi então colocada no reator, sob constante agitação e temperatura (30 °C). Fez-se borbulhar ar durante a exposição à luz UV. Após o início de cada ensaio, foram retiradas com uma seringa alíquotas de 4 mL, em intervalos de 15 minutos, filtradas em filtro de 0,2  $\mu\text{m}$ , e transferidas para cubetas de polimetilmetacrilato (PMMA). Em seguida, as alíquotas foram analisadas por um espectrofotômetro (Cary 5000, Agilent, com acessório UMA).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 4 (a-b) apresentam as imagens de microscopia eletrônica de varredura das fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  sem tratamento térmico e tratadas termicamente à temperatura de 800 °C, respectivamente. É possível observar que as fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  estão aleatoriamente dispersas, sem uma direção uniforme e possuem diâmetros de 0,41 (sem tratamento térmico) e 0,25  $\mu\text{m}$  (tratadas à 800 °C). O que já era esperado, visto que, com o tratamento térmico há uma tendência a diminuição do diâmetro das fibras pela remoção do veículo polimérico e de componentes orgânicos de suas estruturas.

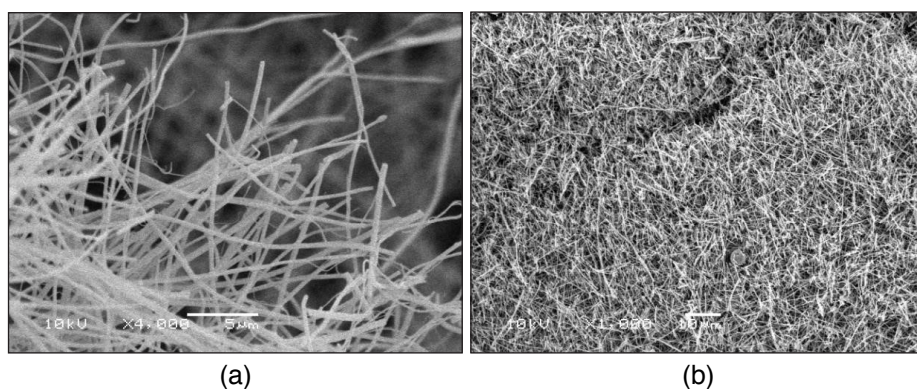


Figura 4. Imagens de microscopia eletrônica de varredura das fibras (a) sem tratamento térmico e (b) tratadas termicamente a 800 °C.

Fonte. Próprias autoras.

A Figura 5 mostra os resultados dos ensaios de difração de raios X (DRX) das fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  sem tratamento térmico (STT) e após o tratamento térmico a 650 °C, 700 °C, 750 °C e 800 °C. Antes do tratamento térmico, as fibras sintetizadas eram amorfas.

Até 700 °C somente a fase anatase foi identificada. Tratamentos térmicos superiores a 750 °C formaram as fases anatase e rutilo. Em temperaturas mais elevadas de tratamento térmico se promove a transformação da fase anatase para a fase rutilo. Esse resultado é esperado, pois sabe-se que ocorre uma transição da fase cristalina anatase para rutilo, após a aplicação de tratamento térmico entre 350 e 1175 °C (RAHIMI et al., 2016). Porém, a temperatura em que ocorre esta transição de fases depende de vários fatores, como: presença de impurezas ou aditivos, a técnica empregada na síntese das amostras e atmosfera presente durante a transformação (FELTRIN et al., 2013).

O primeiro pico característico da fase anatase, foi observado na temperatura de 650 °C, em aproximadamente 25,156° com índice de Miller (101) e, para a fase rutilo foi observado primeiramente na temperatura de 750 °C, em 27,342° que correspondem ao índice de Miller (110). Esses dados foram obtidos com o auxílio do programa X'Pert HighScore que acompanha o difratômetro.

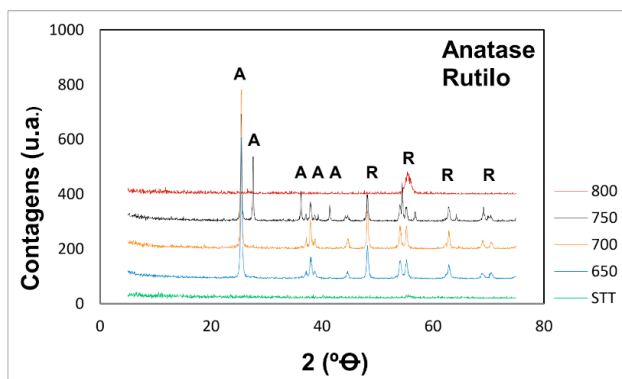


Figura 5: Difratograma das fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  sintetizadas por *electrospinning*.

Fonte. Próprias autoras.

A Figura 6 apresenta a atividade catalítica das fibras de  $\text{TiO}_2$  na degradação do corante alaranjado de metila durante 135 minutos de exposição à luz UV-A ( $\lambda = 365 \text{ nm}$ ). Todas as fibras apresentaram atividade fotocatalítica quando comparadas as fibras de  $\text{TiO}_2$  P25 e foram capazes de degradar o corante alaranjado de metila.

É possível observar que quanto maior a temperatura de sinterização, menor fotoatividade das fibras sintetizadas. Este fato está associado ao aumento da quantidade de

rutilo presente nas fibras tratadas termicamente a temperaturas mais elevadas, pois com o aumento da temperatura ocorre uma transformação de fase do  $\text{TiO}_2$ , de anatase para rutilo. Esta última comprovadamente menos fotoativa. As fibras mais efetivas na degradação do corante alaranjado de metila foram as tratadas à temperatura de 650 °C. Estas amostras continham 100% de anatase em suas estruturas.

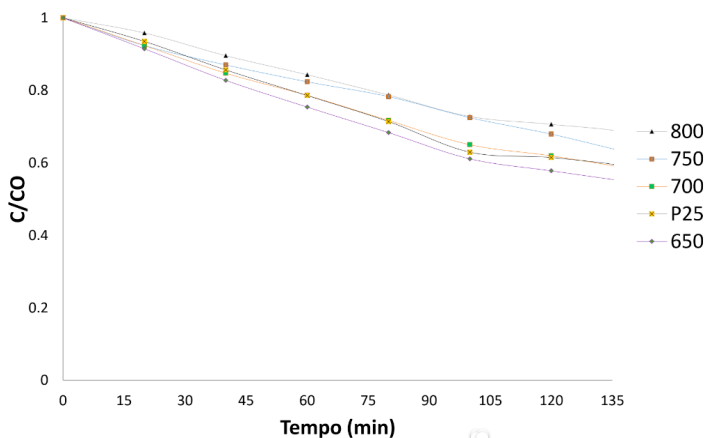


Figura 6: Degradação fotocatalítica da solução de alaranjado de metila na presença de fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$ .

Fonte. Próprias autoras.

Os valores descritos pela literatura para as fases cristalinas de anatase e rutilo são 3,2 eV e 3,0 eV, respectivamente. A Figura 7 mostra que as fibras sintetizadas ficaram dentro destes valores. Tanto a anatase quanto o rutilo podem absorver raios UV. O rutilo é capaz de absorver em comprimentos de onda próximos ao visível, sendo assim, era de se esperar que o fato do rutilo absorver luz em um espectro mais abrangente, o faria ser mais ativo como fotocatalisador. No entanto, a anatase apresenta uma atividade fotocatalítica maior e, um dos fatores que contribuem para isso são às diferenças existentes na posição da banda de condução destes dois tipos de  $\text{TiO}_2$ . A banda de condução de anatase é mais negativa que a do rutilo e, por esse motivo, o poder redutor da anatase é maior ao do rutilo (SOARES, 2018).

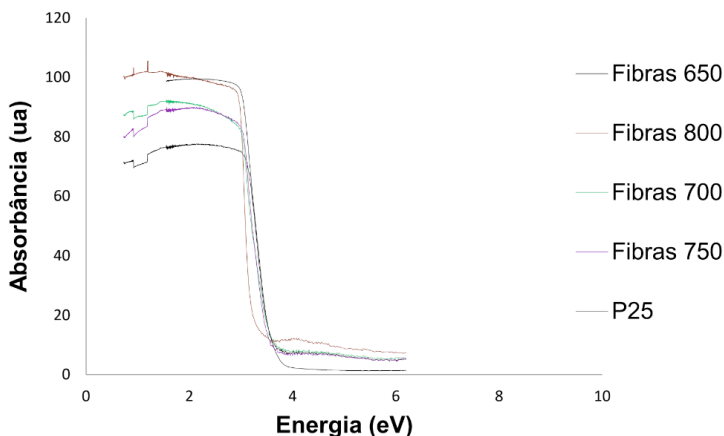


Figura 7. Energia de band gap das fibras de  $\text{TiO}_2$  tratadas termicamente a 650 °C, 700 °C, 750 °C, e 800 °C e do padrão P25.

Fonte. Próprias autoras.

## 4 | CONCLUSÕES

Foi possível sintetizar fibras nanoestruturadas de dióxido de titânio através da técnica de *electrospinning*.

Antes das fibras se apresentaram aleatoriamente dispersas, sem uma orientação preferencial, originando uma matriz altamente porosa e com poros interconectados. Conforme submetidas ao tratamento térmico a 650 °C, 700 °C, 750 °C e 800 °C ocorreu a remoção do veículo polimérico (PVP) e de outros compostos orgânicos, a formação da fase anatase e/ou rutilo e a redução no diâmetro das fibras.

Os testes fotocatalíticos demonstraram que as fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  são eficazes na degradação do corante alaranjado de metila e, podem ser aplicadas como semicondutores em fotocatalise heterogênea. A fotoatividade das fibras está relacionada com as fases formadas. As amostras mais fotoativas foram tratadas termicamente a 650 e 700 °C, onde apenas a fase de anatase está presente.

Outro fator que contribuiu para o aumento da atividade fotocatalítica das fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  foi a elevação da temperatura de tratamento térmico, que ocasionou uma redução da energia de *band gap*, permitindo que os elétrons da banda de valência migrassem para a banda de condução, gerando buracos (*electron hole*) positivos na banda de valência, aumentando a capacidade de degradação das fibras na degradação do corante alaranjado de metila.



## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), do CNPq e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## REFERÊNCIAS

ALVES, A. K. Obtenção de micro e nanofibras de  $\text{TiO}_2$  por electrospinning: caracterização de propriedades e atividade fotocatalítica. 2008, 136p. Tese (Doutorado em Engenharia – Ciência e Tecnologia dos Materiais) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGE3M/RS, Porto Alegre.

DONG, Z.; KENNEDY, S. J.; W. Y. *Electrospinning materials for energy-related applications and devices. Journal of Power Sources*, v.196, p.4886–4904, 2011.

FELTRIN, J.; SARTOR, M. N.; De NONI, A. J; BERNARDIN, A. M.; HOTZA, D.; LABRINCHA, J. Superfícies fotocatalíticas de titânia em substratos cerâmicos. Parte I: Síntese, estrutura e fotoatividade. *Cerâmica*, 59 (2013) 620-632.

FIOREZE, M. E. P. S.; SCHMACHTENBERG, N. Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicação ambiental. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 18 (2014) 79-91.

FUJISHIMA A. e HONDA K. Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode. *Nature*, 238 (1972) 37-38.

HAN, C.; LALLEY, J.; NAMBOODIRI, D.; CROMER, K.; NADAGOUDA, M. N. Titanium dioxide-based antibacterial surfaces for water treatment. *Chemical Engineering*, 11 (2016) 46–51.

NOGUEIRA, R.F.P.; JARDIM, W.F. A Fotocatálise heterogênea e sua aplicação ambiental. *Química Nova*. 21 (1998) 69-72

RAHIMI, N.; PAX, R. A.; MAC, E. G. Review of functional titanium oxides. I:  $\text{TiO}_2$  and its modifications. *Progress in Solid State Chemistry*, 44 (2016) 86-105.

SOARES, L. G.; ALVES, A. K. Photocatalytic properties of  $\text{TiO}_2$  and  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  films applied as semiconductors in heterogeneous photocatalysis. *Materials Letters*, 211 (2018) 339–342.



## EFEITOS DA PIRÓLISE SUAVE EM PELLETS DE *Pinus*

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 05/01/2021

### **Nathalia Heloisa Dullius**

Universidade Federal do Paraná  
Palotina – Paraná

<http://lattes.cnpq.br/0147531707407774>

### **Anderson Rodrigo Heydt**

Universidade Federal do Paraná  
Palotina – Paraná

ID Lattes: 041507595918150

### **Adriana Ferla de Oliveira**

Universidade Federal do Paraná  
Palotina – Paraná

<http://lattes.cnpq.br/8320953119053085>

**RESUMO:** Os pellets são biocombustíveis sólidos de características energéticas favoráveis para a utilização na geração de energia. A sua eficiência energética pode ser melhorada através da pirólise, que concentra carbono e eleva consideravelmente o poder calorífico. Objetivou-se, neste trabalho, a avaliação do efeito da torrefação nas propriedades físico – químicas e energéticas de pellets de *Pinus* de madeira reflorestada. A torrefação dos pellets foi realizada a temperaturas de 225 °C, 250 °C e 275 °C com taxa de aquecimento de 5,5 °C min<sup>-1</sup>, mantido por 60 minutos. Os pellets foram caracterizados por densidade, análise gravimétrica e análise imediata. O tratamento submetido a 225°C, apresentou o melhor resultado de rendimento gravimétrico, com valor igual a 89,44 (± 2,53)

g, contribuindo para maior fixação de carbono e eliminação de voláteis, aumentando o poder calorífico. O processo da torrefação é uma alternativa promissora aos pellets, contribuindo para um menor gasto energético durante a combustão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biocombustível sólido, torrefação, biomassa.

### EFFECTS OF MILD PYROLYSIS IN *Pinus* PELLETS

**ABSTRACT:** Pellets are solid biofuels with favorable energy characteristics for use in power generation. Energy efficiency may be improved through pyrolysis, which concentrates carbon and raises the calorific value considerably. This research aimed to evaluate the effect of torrefaction on the physico - chemical and energetic properties of reforested wood *Pinus* pellets. The torrefaction of the pellets was made at temperatures of 225 °C, 250 °C e 275 °C with heating rates 5,5 °C min<sup>-1</sup> for 60 minutes. The pellets were characterized by density, gravimetric analysis and immediate analysis. The treatment submitted to 225 °C, presented the best result of gravimetric yield, with a value equal to 89,44 (± 2,53) g, contributing to greater carbon fixation and elimination of volatiles, increasing the calorific value. The torrefaction process is a promising alternative to pellets, contributing to a lower energy expenditure during combustion.

**KEYWORDS:** Solid biofuel, torrefaction, biomass.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta uma oferta interna de energia oriunda de fontes renováveis equivalente a 43,5 % conforme dados apresentados pelo Balanço Energético Nacional do Ministério de Minas e Energia – EPE (2017), sendo a biomassa a principal fonte contribuinte com 17,5 %, seguida da hidráulica 12,6 %, lenha e carvão 8,0 % e outras renováveis 5,4 %.

Segundo o Balanço Energético Nacional (2017), a biomassa para fins energéticos é considerada uma fonte de energia primária, originária de matéria orgânica tanto animal quanto vegetal, tendo como armazenamento de energia a energia química. A biomassa que vem ganhando grande destaque para a produção de energia térmica e diminuição da emissão de poluentes é a biomassa florestal.

Garcia *et al.* (2016 b), definem os pellets como biocombustíveis sólidos produzidos através de resíduos agroflorestais, os quais podemos citar serragem, casca de arroz, bagaço de cana e maravalha de madeira. No processo de compactação dos pellets, eles devem estar com um baixo teor de umidade inferior a 10 %, garantido uma elevada densidade energética.

De acordo com Garcia-Marver *et al.* (2014) e Garcia *et al.* (2016 a), as características energéticas dos pellets são responsáveis pelo grande interesse na sua utilização, pois apresentam elevado poder calorífico, homogeneidade de formas e alta densidade energética, melhorando assim a eficiência energética e facilitando a operação automatizada.

Segundo Tavares e Tavares (2015) no Brasil, o consumo e a produção dos pellets são recentes, apresentando um número baixo de empresas, com uma produção de aproximadamente 30.000 toneladas por ano, onde a matéria-prima mais utilizada é a madeira de *Pinus*.

Para Stelt *et al.* (2011), a combinação de peletização e torrefação permite a obtenção de granulados com maior densidade energética. A torrefação é um tratamento térmico, em temperaturas que normalmente variam de 200 a 300 °C, em ambientes com concentrações mínimas ou até mesmo com ausência de oxigênio.

De acordo com Bersch *et al.* (2018), para a determinação do potencial energético dos pellets são necessárias algumas análises como poder calorífico, teor de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas. Segundo Santos *et al.* (2012), a quantidade de calor liberado na queima completa por unidade de massa é considerada poder calorífico sendo influenciado pela quantidade de extrativos e lignina presente. Teores elevados de carbono fixo são responsáveis em ocasionar a queima mais lenta, já maiores teores de voláteis contribuem para a degradação acelerada dos pellets. Bersch *et al.* (2018) afirmam que as cinzas presentes são constituídas de materiais inorgânicos desfavoráveis ao processo, auxiliando em um baixo poder calorífico do biocombustível.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da torrefação nas propriedades físico – químicas e energéticas de pellets de madeira reflorestada de *Pinus*.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Química Orgânica pertencente à Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina. Foram utilizados pellets de *Pinus* obtidos em uma empresa localizada na cidade de Cascavel - PR. Os pellets são fabricados a partir de pó de *Pinus* de reflorestamentos. Em todas as análises realizadas, foram desenvolvidas em triplicata, afim de garantir maior precisão dos dados e diminuição de possíveis erros.

### 2.1 Densidade a granel e densidade aparente

A densidade a granel dos pellets antes e após a torrefação foi determinada utilizando-se a metodologia estabelecida pela norma ABNT NBR 6922, para carvão vegetal. Adaptou-se a norma, utilizando-se uma proveta de 0,1 L, que foi preenchido até a borda com os pellets e, sua massa, obtida numa balança analítica com precisão de 0,001 g. Foram realizadas cinco repetições para cada material.

Entretanto, a densidade aparente dos pellets *in natura* foi realizada segundo Protásio *et al.* (2011) pelo método estereométrico. Determinou-se o volume considerando a forma cilíndrica da amostra, onde foram aferidos o comprimento e o diâmetro de cada pellet. Enquanto a massa dos pellets foi determinada em balança analítica com precisão de 0,0001 g.

As densidades, aparente e real, foram obtidas a partir da Equação (1).

$$d = \frac{m}{v} \quad (1)$$

### 2.2 Determinação da composição da biomassa *in natura* e após torrefação

As amostras foram previamente secas em estufa a 75 °C por 72 horas e moídas em um moinho de facas com peneira de abertura de 0,59 mm. Em seguida, o material moído foi peneirado, em conjunto de peneiras de abertura de 0,42 mm e 0,250 mm, sendo utilizados o material retido na peneira de 0,250 mm.

A análise imediata foi conduzida de acordo com o método ASTM D-3 172-75 determinando os teores de umidade, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas.

A umidade foi determinada levando-se as amostras em cadinhos destampados à estufa por 1 hora a 110 °C e repetindo-se o procedimento por 30 minutos até obter-se massa constante.

O teor de materiais voláteis foi determinado a partir das amostras secas, levando-se cadinhos tampados à mufla aquecida a 850 ± 20 °C por 6 minutos.

A análise de cinzas foi realizada a partir de uma rampa de aquecimento, colocando os cadinhos destampados na mufla fria. O aquecimento da mufla foi realizado a uma taxa de 8 °C min<sup>-1</sup> até atingir 500 °C e a taxa de 4 °C min<sup>-1</sup> até atingir 750 °C sendo mantida nessa temperatura por duas horas. O teor de carbono fixo foi obtido por diferença de massa.

## 2.3 Torrefação das amostras

A torrefação foi realizada em uma mufla adicionando aproximadamente 20 g de pellets, livres de umidade, em cadinhos. As amostras foram submetidas a temperaturas de 225 °C, 250 °C e 275 °C, com taxa de aquecimento de 5,5 °C min<sup>-1</sup>. Para cada temperatura realizaram-se três repetições.

## 2.4 Determinação da composição da biomassa após a torrefação

As amostras foram maceradas em almofariz com auxílio de um pistilo, de modo a obter-se um pó homogêneo. Para cada tratamento, foram obtidas 2 amostras de aproximadamente 2 g. As amostras foram secas em estufa a 110 °C, até massa constante.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme apresentado na Tabela 1, podemos observar os dados referentes as características químicas e físicas dos pellets de *Pinus in natura*, afim de comparar com os dados após o processo de torrefação. O desvio-padrão para os dados obtidos, indicam baixa variabilidade dos resultados encontrados.

Teor de umidade (% b.s.)	Carbono fixo (% b.s.)	Voláteis (% b.s.)	Teor de cinzas (%b.s.)	Densidade aparente (kg m <sup>-3</sup> )
8,64 ± 0,02	15,76 ± 0,09	83,82 ± 0,07	0,42 ± 0,02	563,40 ± 0,01

b.s. – Base seca

Tabela 1 – Características químicas e físicas dos pellets de *Pinus in natura*

O teor de umidade segundo a norma ISO 17225 (2014) deve ser inferior a 10 %, podemos assim observar na Tabela 1 que o valor do teor de umidade para pellet de *Pinus* é de 8,64 % respeitando assim a normatização. Protásio *et al.* (2015) ao realizar caracterização energética de pellets de madeira residual de *Pinus* apresentou um teor de umidade para pellet *in natura* de 8,0 %. A umidade presente nos pellets influencia diretamente na quantidade de energia, pois quanto maior a umidade, mais energia será gasta para realizar o processo de vaporização (SPANHOL *et al.*, 2015).

De acordo com Soares *et al.* (2014) e Protásio *et al.* (2015), uma característica que pode afetar diretamente o poder calorífico do material é o teor de carbono fixo, onde que pellets com maiores teores de carbono fixo queimam lentamente, e com isso apresentam uma estabilidade térmica maior demandando uma elevada temperatura de ignição. O resultado obtido para teor de carbono fixo é de 15,76 %, quando comparado com Protásio *et al.* (2015) que obteve o valor de 15,2 % para pellet *in natura* de *Pinus*, nota-se uma similaridade quanto aos resultados. Já Garcia *et al.* (2018) apresentou valores de 17,97 %

de teor de carbono fixo também ao realizar a caracterização energética de pellets de *Pinus*.

Os teores de voláteis são inversamente ao de teor de carbono fixo, sendo assim quanto maior o teor de carbono fixo menor é o teor de voláteis. Podemos observar na Tabela 1 que o teor de voláteis é de 83,82 %, sendo considerado um valor alto, mas à medida que os pellets são submetidos ao processo de torrefação eles tendem a diminuir, onde o aumento da temperatura acarreta na liberação dos voláteis diminuindo sua porcentagem.

A presença de cinzas nos pellets é indesejada, pois sua composição é basicamente de matéria inorgânica, sendo assim podemos observar na Tabela 1 que o valor para pellet de *Pinus in natura* é de 0,42 %. Segundo a organização Österreichisches Normungsinstitut (2000), na norma austríaca ÖNORM M 7135 o teor de cinzas deve apresentar valor máximo de 0,5 %, já a organização Deutsches Institut Für Normung (1996) apresentou que na norma alemã DIN 51731 é admitido que os teores possam atingir no máximo 1,5 %. Na norma sueca SS 18 71 20, os pellets do grupo 1, são aceitáveis com valores de no máximo 0,7 % de teor de cinzas, segundo Swedish Standards Institute (1999). Sendo assim, podemos observar que o pellet de *Pinus* estudado, atende neste quesito, todas as normas mencionadas.

Segundo Protásio *et al.* (2012), o teor de cinzas presente nos pellets está ligado diretamente com o potencial energético e são aconselhados baixos valores. Elevados teores tendem a diminuir o poder calorífico do material, tendo em vista que as cinzas são compostas por elementos minerais, os quais não participam do processo de combustão.

A densidade pode ser considerada o principal índice de qualidade para o uso energético dos combustíveis de biomassa, pois influencia diretamente a densidade energética. Conforme a norma ISO 17225 (2014) a densidade a granel pode variar de 583,6 kg m<sup>-3</sup> até 710,0 kg m<sup>-3</sup>, sendo assim, o valor apresentado na Tabela 1 que é igual a 563,40 kg m<sup>-3</sup> não está de acordo com a norma, onde este valor é inferior ao intervalo. Protásio *et al.*, (2015) ao realizar a caracterização energética de pellets *in natura* e torreficadas de madeira de *Pinus* obteve o valor de 639 kg m<sup>-3</sup> se encontrando dentro do intervalo conforme a norma ISO 17225. Conforme apresentado, a baixa densidade a granel encontrada, está atrelada a perdas, pois será necessário transportar uma maior quantidade de pellets com menor massa.

Na Tabela 2, é possível observar os dados da densidade aparente após o processo de torrefação, com as temperaturas de 225 °C e 250 °C, apresentando valores respectivos de 474,57 kg m<sup>-3</sup> e 486,47 kg m<sup>-3</sup>. A perda de massa dos pellets está atrelada a diminuição da densidade após o processo de torrefação em elevadas temperaturas, que se dão devido a liberação dos extrativos, água e pela degradação parcial de hemicelulose.

Temperatura (°C)	Condensáveis (g)	Massa Torrada (g)	Rendimento Gravimétrico (g)	Densidade aparente (kg m <sup>-3</sup> )
225	0,0165 ± 0,01	16,64 ± 0,33	89,44 ± 2,53	474,57 ± 0,01
250	0,0196 ± 0,01	15,40 ± 3,23	82,91 ± 17,43	486,47 ± 0,02
275	0,0030 ± 0,01	9,28 ± 1,64	49,96 ± 8,79	-

Tabela 2 – Características químicas e físicas dos pellets de *Pinus* após a torrefação em diferentes temperaturas.

Conforme Macedo *et al.* (2014), os condensáveis em exceção da água, são encontrados em cerca de 8 % do balanço global após o processo de torrefação, onde as indústrias químicas vêm buscando realizar a sintetização para a produção de produtos químicos. Conforme a Tabela 2, podemos observar que os valores para condensáveis após o processo da torrefação a temperaturas de 225 °C, 250 °C e 275 °C foram respectivamente de 0,0165 g, 0,0196 g e 0,0030 g, quando tratados em porcentagem eles apresentam valores de 0,09 %, 0,1 % e 0,02 %.

Segundo Rodrigues e Rousset (2009) e Medic *et al.* (2010), os subprodutos da torrefação podem ter seu rendimento e qualidade influenciada devido a composição da biomassa, temperatura do processo, tempo de residência, taxa de aquecimento e tamanho da partícula.

O rendimento gravimétrico está atrelado com a massa torrada, onde podemos observar que para as temperaturas de 225 °C, 250 °C e 275 °C apresentaram valores de massa torrada respectivamente iguais a 16,64 g, 15,40 g e 9,28 g, e para o rendimento gravimétrico apresentou valores respectivos de 89,4 %, 82,9 % e 49,96 %, com isso podemos observar que quanto maior a temperatura do processo da torrefação menor o rendimento gravimétrico e a quantia de massa torrada. Pereira *et al.* (2016) ao realizar torrefação de cavacos de eucalipto para fins energéticos para temperaturas de 200 °C, 250 °C e 300 °C obteve respectivamente valores de 99,40 %, 98,78 % e 60,06 %, onde quando comparado com o *Pinus* teve uma diferença, mas estes estão atrelados a composição química do pellet. De acordo com Araújo *et al.* (2012), o fato de o aumento da temperatura influenciar tanto na perda de massa quanto no rendimento gravimétrico é explicado pela degradação da composição da madeira, mais exclusivamente a hemicelulose presente.

## 4 | CONCLUSÃO

O uso de pellets de *Pinus* para geração de calor vem crescendo, onde grande parte dos pellets são produzidos em base de resíduos agroflorestais.

Ao analisarmos os pellets de *Pinus in natura*, podemos observar que apresentam densidade aparente inferior aos valores encontrados na literatura, o que acaba acarretando em uma necessidade de uma maior quantidade de pellets para obter a mesma quantidade

de calor quando comparado com pellets com densidade superiores.

É visível observar que o processo da torrefação em diferentes temperaturas influência nos pellets de *Pinus*, que de acordo com o aumento da temperatura tem-se um aumento na perda de massa e rendimento gravimétrico.

Com os dados podemos observar que o processo de torrefação é visto com uma alternativa para os pellets, sendo a torrefação uma pirólise leve onde ocorre a vaporização dos voláteis e eliminação de umidade, auxiliando assim em um gasto menor de energia para estes.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, S. O., VITAL, B. R., MENDOZA, Z. M. S. H., VIEIRA, T. A., & CARNEIRO, A. C. O. **Propriedades de madeiras termoretificadas de *Eucalyptus grandis* e SP.** *Scientia Forestalis*, v. 40, n. 95, p. 327-336, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6922: carvão vegetal.** Rio de Janeiro, 1983.

BERSCH, A. P., BRUN, E. J., PEREIRA, F. A., SILVA, D. A., DE BARBA, Y. R., & JUNIOR, J. R. D. **Caracterização energética da madeira de três materiais genéticos de *Eucalyptus* sp.** *Floresta*, v. 48, n. 1, p. 87-92, 2018.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 51731: testing of solid fuels: compressed untreated wood, requirements and testing.** Berlin, 1996. 4 p.

EPE. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL:** Ano base 2016. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2017.

GARCIA, D. P., CARASCHI, J. C., VENTORIM, G., VIEIRA, F. H. A., & DE PAULA PROTÁSIO, T. **Comparative Energy Properties of Torrefied Pellets in Relation to Pine and Elephant Grass Pellets.** *BioResources*, v. 13, n. 2, p. 2898-2906, 2018.

GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G. **Decomposição térmica de pellets de madeira por TGA.** *Holos*, Natal, v. 1, n. 32, p. 1-13, 2016a.

GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G.; VIEIRA, F.H.A. **Trends and challenges of origin brazilian agroforestry pellets industry.** *Cerne*, v. 22, n. 3, p. 233-240, 2016b.

GARCIA-MARAVER, A.; ZAMORANO, M.; FERNANDES, U.; RABAÇAL, M.; COSTA, M. **Relationship between fuel quality and gaseous and particulate matter emissions in a domestic pellet-fired boiler.** *Fuel*, Amsterdam, v. 119, p. 141-152, 2014.

ISO 17225-2: 2014 - **Solid biofuels - Fuels specification and classes - Part 2 - Graded pellets.** Brussels, 2014.

MACEDO, L. A.; ROUSSET, P. L. A.; VALE, A. T. **Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis da torrefação de resíduos vegetais.** *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 34, n. 80, p. 417-424, 2014.

MEDIC, D.; DARR, M.; POTTER, B.; SHAH, A. **Effect of torrefaction process parameters on biomass feedstock upgrading.** In: ANNUAL INTERNATIONAL MEETING BY ASABE, 2010. Pittsburgh. Papers... Pittsburgh: ASABE, 2010. 17 p. Paper n. 1009316.

ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT. **ÖNORM M 7135: compressed wood or compressed bark in natural state: pellets and briquettes: requirements and test specifications.** Wien, 2000. 10 p.

PEREIRA, M. P. D. C. F., COSTA, E. V. S., PEREIRA, B. L. C., CARVALHO, A. M. M. L., CARNEIRO, A. D. C. O., & COSTA, A. **Torrefação de cavacos de eucalipto para fins energéticos.** *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 36, n. 87, p. 269-275, 2016.

PROTÁSIO, T. D. P., TRUGILHO, P. F., DE SIQUEIRA, H. F., DE MELO, I. C. N. A., ANDRADE, C. R., & JUNIOR, J. B. G. **Caracterização energética de pellets in natura e torreficados produzidos com madeira residual de Pinus.** *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 35, n. 84, p. 435-442, 2015.

PROTÁSIO, T. P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; BALIZA, A. E. R. **Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos.** *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.31, p.273-283, 2011.

PROTÁSIO, T.P.; BUFALINO, L.; MENDES, R.F.; RIBEIRO, M.X.; TRUGILHO, P.F.; LEITE, E.R. **Torrefação e carbonização de briquetes de resíduos do processamento dos grãos de café.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 11, p. 1252-1258, 2012.

RODRIGUES, T. O.; ROUSSET, P. **Effects of torrefaction on energy properties of Eucalyptus grandis wood.** *Cerne*, Lavras, v. 15, p. 446-452, 2009.

SANTOS, L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. de C. O.; TRUGILHO, P. F. **Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de Eucalyptus plantados em diferentes locais.** *Revista Árvore*, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 971-980, 2012.

SOARES, C. V., BIANCHI, M. L., TRUGILHO, P. F., JÚNIOR PEREIRA, A., & HÖFLER, J. **Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto.** *Revista Árvore*, v. 38, n. 3, p. 543-549, 2014. DOI: 10.1590/S0100-67622014000300017.

SPANHOL, A.; NONES, D. L.; KUMABE, F. J. B.; BRAND, M. A. **Qualidade dos pellets de biomassa florestal produzidos em Santa Catarina para a geração de energia.** *Floresta*, v. 45, n. 4, p. 833-843, 2015.

SWEDISH STANDARDS INSTITUTE. **SS 187180: biofuels and peat: determination of mechanical durability of pellets and briquettes, pellets.** Stockholm, 1999.

TAVARES, M.; TAVARES, S. R. L. **Perspectivas para a participação do Brasil no mercado Internacional de pellets.** *Holos*, v. 5, p. 292 - 306, 2015.



## ESTUDO DE SISTEMAS ISOLANTES DE REFERÊNCIA USADOS NA DETERMINAÇÃO DA CLASSE TÉRMICA DE NOVOS SISTEMAS ISOLANTES SEGUNDO A NORMA IEEE C57.100

*Data de aceite: 01/03/2021*

### **Helena Maria Wilhelm**

Vegoor Tecnologia Aplicada  
Colombo – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/5390521534895856>

### **Paulo Oliveira Fernandes**

Vegoor Tecnologia Aplicada  
Colombo – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/7877059584223513>

### **Leandro Gonçalves Feitosa**

Vegoor Tecnologia Aplicada  
Colombo – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/0014849803778166>

### **Geovana Carolina dos Santos**

Vegoor Tecnologia Aplicada  
Colombo – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/8635944904322133>

### **Laís Pastre Dill**

Vegoor Tecnologia Aplicada  
Colombo – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/0143718255333234>

### **Leonardo Galhardo**

DuPont Energy Solutions  
Santana de Parnaíba - São Paulo

### **Richard Marek**

DuPont Energy Solutions  
Richmond – USA

de distribuição e de potência. Todavia, o tipo de óleo mineral isolante e papel a serem utilizados nos testes influenciam nos resultados obtidos. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades de três papéis kraft termoestabilizados, obtidos de diferentes fornecedores, como sistemas de referência de acordo com a norma IEEE C57.100:2011. Para tanto, os três papéis distintos foram inicialmente caracterizados, sendo determinado seu grau de polimerização (GP), resistência à tração e teor de nitrogênio. Na sequência, os papéis foram secos até atingir um teor de umidade inferior a 0,5% e envelhecidos em óleo mineral isolante em duas temperaturas por diferentes intervalos de tempo (180 °C por 18 dias e a 165 °C por 55 dias). Após, foram realizados ensaios de GP e de resistência à tração nos papéis envelhecidos e os resultados obtidos foram comparados entre si. A reprodutibilidade desse procedimento geral, descrito na norma IEEE C57.100:2011, foi avaliada em dois laboratórios diferentes, um nacional e outro americano. O laboratório nacional testou a relação de materiais para transformadores de potência, enquanto o americano testou as duas relações, distribuição e potência. Neste artigo estão apresentados os resultados obtidos para os diferentes papéis investigados, para as duas relações de materiais (distribuição e potência) e para as temperaturas de 180 e 165 °C. Para a relação de materiais de transformadores de potência, pequenas diferenças foram observadas entre os resultados absolutos de alguns ensaios dos dois laboratórios. Embora tenham sido observadas essas pequenas diferenças, ambos os laboratórios obtiveram resultados comparáveis se consideradas

**RESUMO:** A norma IEEE C57.100 estabelece um procedimento simples para a determinação da vida útil de papéis isolantes de transformadores

as características de fim de vida para os papéis testados. Por fim, sugestões para melhorar a reprodutibilidade entre os laboratórios são apresentadas e discutidas neste artigo.

**PALAVRAS-CHAVE:** IEEE Std C57.100, classe térmica, papel kraft isolante, papel kraft termoestabilizado, óleo mineral isolante.

## STUDY OF REFERENCE INSULATING SYSTEMS USED IN THE DETERMINATION OF THERMAL CLASS OF NEW INSULATING SYSTEMS ACCORDING TO IEEE C57.100 STANDARD

**ABSTRACT:** IEEE C57.100 standard establishes a simple procedure to determine lifetime of insulating papers of distribution and power transformers. However, the type of insulating mineral oil and paper to be used in tests have effect on the obtained results. In view of this, the aim of this study was to evaluate the properties of three thermal upgraded kraft paper, obtained from different providers, as reference systems according to IEEE C57.100:2011 standard. In order to do this, the three distinct paper were firstly characterized by polymerization degree (PD), tensile strength and nitrogen content. Then, the papers were dried until reach moisture content lower than 0.5% and they were aged in insulating mineral oil at two temperatures for different periods (180 °C for 18 days and 165 °C for 55 days). Afterwards, PD and tensile strength assays were performed for aged papers and the results were compared to each other. The reproducibility of this general procedure described on IEEE C57.100:2011 standard, was evaluated in two distinct laboratory, one national and other American. The national laboratory tested the relation of materials for power transformers while the American one tested both relations, for distribution and for power transformers. In this study there are presented the results obtained for the different papers investigated, for the two relation of materials (distribution and power) and for the temperatures of 180 and 165 °C. For the relation of power transformer materials, small differences were observed between the absolute results of some assays of the two laboratories. Although these small differences were observed, both the two laboratories achieved resembling results if considering the end life characteristics of the tested papers. Finally, some suggestions to improve the reproducibility between laboratories are presented and discussed in the present study.

**KEYWORDS:** IEEE Std C57.100, thermal class, insulating kraft paper, thermal upgraded kraft paper, insulating mineral oil.

## 1 | INTRODUÇÃO

A norma IEEE Std C57.100 (*Standard Test Procedure for Thermal Evaluation of Insulation Systems for Liquid-Immersed Distribution and Power Transformers*), que define procedimentos para a determinação da classe térmica de novos sistemas isolantes, foi revisada em 2011. O sistema de isolamento para aplicação desta norma inclui o papel kraft termoestabilizado, o *pressboard* e o óleo mineral isolante (OMI). Nesta revisão, o procedimento para determinar a classe térmica de novos sistemas isolantes (denominado de *candidate system*) é baseado no uso de um sistema de referência (denominado de *industry proven system*) (IEEE, 2011).

O procedimento da norma IEEE Std C57.100 exige que seja feito, inicialmente, o envelhecimento do sistema de referência (*industry proven system*) em três diferentes temperaturas, em triplicata, em células de teste fechadas, acondicionadas em uma estufa. As células de teste permanecem na estufa por um intervalo de tempo específico, determinado previamente pela curva de Arrhenius, como definido na IEEE Std C57.12.00 (IEEE, 2015). Nas amostras do papel de referência envelhecidas devem ser realizados ensaios de resistência mecânica à tração para determinar o percentual remanescente da resistência mecânica do papel envelhecido [percentual remanescente da resistência mecânica do papel envelhecido = (resistência à tração do papel envelhecido x 100)/resistência à tração do papel novo] ou o grau de polimerização (GP) e, em seguida, todos os nove resultados do teste são avaliados em conjunto (IEEE, 2011).

O valor da resistência à tração remanescente e o do GP do papel envelhecido são, então, utilizados como critérios de fim de vida para o novo sistema isolante (*candidate system*) a ser investigado. A norma IEEE Std C57.100 define uma relação diferente de materiais para transformadores de distribuição e de potência (IEEE, 2011). Embora este procedimento seja simples, em geral, na prática surgem algumas dúvidas com relação ao tipo de óleo mineral isolante e papel kraft termoestabilizado a serem utilizados, uma vez que variações na qualidade e no desempenho destes podem gerar resultados diferentes. Portanto, não está claro ainda como possíveis variações no sistema de referência podem afetar o resultado do novo sistema isolante sob investigação.

No sentido de contribuir para o esclarecimento das questões supracitadas foi desenvolvido o presente trabalho. Neste estudo se investigou três papéis kraft termoestabilizados distintos, produzidos por fabricantes de três diferentes áreas geográficas, como sistemas de referência de acordo com a norma IEEE Std C57.100:2011 (IEEE, 2011). Um fabricante foi selecionado da Europa, um da Ásia e um da América do Norte. Para tanto, os três papéis kraft termoestabilizados, de diferentes fornecedores, foram inicialmente caracterizados, sendo determinado o GP, a resistência à tração e o teor de nitrogênio. Neste artigo estão apresentados os resultados obtidos para os diferentes papéis investigados para as temperaturas de 180 e 165 °C.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização dos papéis kraft termoestabilizados novos

Três papéis kraft termoestabilizados, aqui denominados de Papel 1, Papel 2 e Papel 3, obtidos de três diferentes fornecedores (um fabricante foi selecionado da Europa, um da Ásia e um da América do Norte) foram analisados quanto ao seu teor de água baseando-se na norma ASTM D3277:2010 (ASTM, 2010), nitrogênio total pelo método de Kjeldahl segundo a norma AOAC 955.04D:2014 (AOAC, 2014), grau de polimerização conforme

ABNT NBR IEC 60450:2009 (ABNT, 2009) e resistência mecânica à tração pelo método ASTM D882:2018 (ASTM, 2018a) para o Laboratório 1 e ASTM D828:2018 (ASTM, 2018b) para o Laboratório 2.

Previamente à determinação do teor de água, amostras dos papéis foram acondicionadas em ambiente com temperatura e umidade controladas (18,8 °C e 14% de umidade relativa) e em ambiente não controlado (temperatura ambiente de aproximadamente 26 °C e umidade relativa aproximada de 65%).

Para os ensaios mecânicos de tração, a distância entre as garras e a velocidade de separação das mesmas foram fixadas em 76 mm e 12,5 mm min<sup>-1</sup>, respectivamente, para o Laboratório 1 e em 63,5 mm e 6,35 mm min<sup>-1</sup>, respectivamente, para o Laboratório 2. O ensaio mecânico foi realizado em amostras de papel impregnadas com OMI. A impregnação dos papéis com OMI foi realizada segundo a ASTM D2413:2016 (ASTM, 2016).

## 2.2 Envelhecimento acelerado dos papéis kraft termoestabilizados

O Laboratório 1 testou a razão de materiais para transformadores de distribuição e de potência e o Laboratório 2 apenas para transformadores de potência (Tabela 1). Os dois laboratórios usaram células de envelhecimento com diferentes dimensões (Tabela 2), sendo as células do Laboratório 1 construídas em aço e as do Laboratório 2 em alumínio (Figura 1). Ambas as células são equipadas com uma válvula de alívio de pressão ajustada para 69 kPa (10 Psi). Na Figura 1 consta o interior de uma célula de envelhecimento, utilizada pelo Laboratório 1, com a relação típica de materiais para transformadores de distribuição.

Material	Tipo de transformador	
	Potência	Distribuição
Líquido isolante	200 cm <sup>3</sup>	200 cm <sup>3</sup>
Papel isolante 0,05 até 0,10 mm	6,4 cm <sup>3</sup>	
Papel isolante 0,13 até 0,38 mm		11,2 cm <sup>3</sup>
Pressboard de baixa densidade 1,00 até 3,00 mm		1,2 cm <sup>3</sup>
Pressboard de baixa densidade 2,00 até 8,00 mm	16,4 cm <sup>3</sup>	
Razão líquido/sólido	8,8:1	16,3:1

Tabela 1 – Razões de materiais para os transformadores de distribuição e de potência definidas para o teste em tubos selados (IEEE, 2011).

	Laboratório 1	Laboratório 2
Altura	20,3 cm	18,0 cm
Largura	12,7 cm	8,2 cm
Volume total	2573,9 cm <sup>3</sup>	950,6 cm <sup>3</sup>

Tabela 2 – Dimensões das células de envelhecimento.

As células de envelhecimento foram preenchidas com óleo mineral isolante e cobre metálico. Então, as amostras de papel e *pressboard* foram removidas do dispositivo de impregnação e inseridas nas células. Neste momento, foi coletada uma amostra de papel para determinação do teor de umidade. As células foram fechadas (tampa aparafusada) e o ar do *headspace* removido pela introdução de gás nitrogênio até a pressão, registrada pelo manômetro, atingir 4 Psi.



Figura 1 - Célula de envelhecimento contendo os materiais sólidos.

As células, contendo as razões de materiais apresentadas na Tabela 1, foram dispostas em estufas. O envelhecimento acelerado foi realizado a 180 °C por 18 dias e a 165 °C por 55 dias, pelos Laboratórios 1 e 2. Os ensaios foram realizados em triplicata. Ao final do tempo de envelhecimento, as células foram removidas da estufa e foi avaliado se houve perda de pressão. As células foram esfriadas à temperatura ambiente e após foram abertas. Os metais foram descartados. O papel e o *pressboard* foram guardados em sacos plásticos tipo “Zip”, para evitar contato com a umidade do ambiente.

### 2.3 Caracterização dos papéis kraft termoestabilizados envelhecidos

A caracterização dos papéis kraft termoestabilizados após envelhecimento foi realizada por ensaios de determinação de teor de água (ASTM, 2010), grau de polimerização (ABNT, 2009) e resistência mecânica à tração (ASTM, 2018a e ASTM, 2018b). Para os ensaios mecânicos de tração o óleo não foi extraído das amostras de papel.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Propriedades dos papéis kraft termoestabilizados novos

Na Tabela 3 estão apresentadas as concentrações de nitrogênio presentes nos três

papéis kraft termoestabilizados novos. Os Papéis 2 e 3 apresentaram teores de nitrogênio similares, enquanto o Papel 1 apresentou o menor valor para este mesmo parâmetro.

Papel	Nitrogênio total (%)	
	Laboratório 1	Laboratório 2
Papel 1	1,67	1,80
Papel 2	2,17	2,15
Papel 3	2,18	2,13

Tabela 3 – Valor médio do teor de nitrogênio total dos papéis kraft termoestabilizados novos, determinado pelo método Kjeldahl.

O teor de umidade determinado nos papéis kraft termoestabilizados novos são mostrados na Tabela 4. Quando expostos a diferentes condições de umidade e temperatura, os 3 papéis apresentaram teores de umidade semelhantes.

Papel	Teor de umidade (%)	
	Laboratório 1 RH = 14%	Laboratório 2 RH = 65%
Papel 1	1,3	8,9
Papel 2	1,5	8,0
Papel 3	1,7	8,3

Tabela 4 – Teor de umidade dos papéis kraft termoestabilizados novos.

Os resultados dos ensaios mecânicos de tração estão mostrados na Tabela 5. Os três papéis novos apresentaram espessuras, alongamento e módulo de Young similares (Tabelas 5 e 6) para ambos os laboratórios. As diferenças observadas entre os Laboratórios 1 e 2 podem ser atribuídas às diferenças na distância e velocidade de separação das garras. O Papel 3 apresentou maior resistência à tração comparativamente aos demais papéis.

Papel	Espessura (mm)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)	Módulo de Young (GPa)
Papel 1	0,082±0,004	130,1±11,6	2,12±0,19	9,20±1,57
Papel 2	0,082±0,001	136,4±13,9	1,72±0,14	10,43±1,32
Papel 3	0,073±0,001	176,6±17,8	1,81±0,18	12,04±1,30

Tabela 5 – Propriedades mecânicas de tração (valor médio ± desvio padrão) dos papéis kraft termoestabilizados novos, medidas pelo Laboratório 1.

Papel	Espessura (mm)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)	Módulo de Young (GPa)
Papel 1	0,086±0,003	100,5±3,6	3,47±0,10	6,22±0,28
Papel 2	0,090±0,003	106,9±4,1	2,94±0,11	7,14±0,35
Papel 3	0,078±0,006	138,6±8,6	3,15±0,02	8,63±0,48

Tabela 6 – Propriedades mecânicas de tração (valor médio ± desvio padrão) dos papéis kraft termoestabilizados novos, medidas pelo Laboratório 2.

O valor do GP médio dos papéis novos está apresentado na Tabela 7. Os valores foram semelhantes para os três papéis analisados.

Papel	Laboratório 1	Laboratório 2
Papel 1	1014	1189±14
Papel 2	1155	1257±10
Papel 3	1028	1184±11

Tabela 7 – Grau de polimerização (GP) (valor médio ± desvio padrão) dos papéis kraft termoestabilizados novos, medidos pelos Laboratórios 1 e 2.

### 3.2 Propriedades dos papéis kraft termoestabilizados envelhecidos

Os resultados dos ensaios mecânicos de tração para os papéis kraft termoestabilizados envelhecidos a 180 °C, na razão de materiais para transformadores de potência, são mostrados nas Tabelas 8 e 9. Para ambos os laboratórios, o Papel 3 envelhecido apresentou maior resistência à tração comparativamente aos demais.

Papel	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)	Módulo de Young (GPa)
Papel 1	21,77±1,36	0,79±0,31	6,442±0,133
Papel 2	19,15±1,21	0,67±0,24	8,075±0,186
Papel 3	32,64±1,89	0,58±0,20	11,513±0,244

Tabela 8 – Propriedades mecânicas (valor médio ± desvio padrão) dos papéis kraft termoestabilizados envelhecidos a 180 °C (razão de materiais para transformadores de potência), obtidas pelo Laboratório 1.

Papel	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)	Módulo de Young (GPa)
Papel 1	18,04±3,85	0,93±0,37	2,724±0,30
Papel 2	13,74±2,70	1,67±0,27	0,938±0,13
Papel 3	26,52±2,01	0,83±0,6	0,942±0,38

Tabela 9 – Propriedades mecânicas (valor médio ± desvio padrão) dos papéis kraft termoestabilizados envelhecidos a 180 °C (razão de materiais para transformadores de potência), obtidas pelo Laboratório 2.

O teor de umidade medido nos papéis envelhecidos a 180 e 165 °C, para a razão de materiais para transformadores de potência, estão apresentados na Tabela 10. Resultados similares foram obtidos para ambos os laboratórios para os papéis envelhecidos a 180 °C, no entanto, a 165 °C valores diferentes foram obtidos. Essa diferença pode ser devido ao tempo de resfriamento das células após retirada da estufa, cujo tempo não foi pré definido entre os laboratórios.

Razão de materiais e temperatura (°C)	Papel	Conteúdo de umidade (%)	
		Laboratório 1	Laboratório 2
Distribuição, 180 °C	Papel 1	1,3	
	Papel 2	1,0	
	Papel 3	1,3	
Distribuição, 165 °C	Papel 1	1,3	
	Papel 2	1,2	
	Papel 3	1,5	
Potência, 180 °C	Papel 1	1,4	0,9
	Papel 2	1,2	0,9
	Papel 3	0,9	0,9
Potência, 165 °C	Papel 1	1,4	5,1
	Papel 2	1,3	4,8
	Papel 3	1,1	4,5

Tabela 10 - Conteúdo de umidade (valor médio) dos papéis kraft termoestabilizados envelhecidos, obtidos pelos laboratórios 1 e 2.

Os percentuais remanescentes da resistência à tração dos ensaios realizados com a razão de materiais para transformadores de distribuição estão mostrados na Tabela 11. Os resultados mostram boa uniformidade, exceto para o Papel 3 a 165 °C. Sem excluir nenhum dado, o valor médio da resistência à tração remanescente é de 23% e o GP médio



é de 160 para os testes com a razão de materiais para transformadores de distribuição.

Temperatura (°C)		Papel 1	Papel 2	Papel 3
180	Resistência à tração remanescente, %	20,28	31,38	19,98
		18,24	19,98	22,53
		26,16	23,23	21,03
	Valor médio	21,56	24,87	21,18
	GP	161	224	168
		128	193	199
		147	128	168
Valor médio		145	182	178
165	Resistência à tração remanescente, %	21,32	31,58	14,21
		36,13	21,95	9,99
		28,84	32,60	10,47
	Valor médio	28,76	28,71	11,56
	GP	154	180	128
		218	168	101
		141	193	82
Valor médio		171	180	104

Tabela 11 - Percentual remanescente da resistência à tração e GP dos papéis envelhecidos a 180 e 165 °C (razão de materiais para transformadores de distribuição) obtidos pelo Laboratório 1.

Os percentuais remanescentes da resistência à tração dos ensaios realizados com a razão de materiais para transformadores de potência estão apresentados nas Tabelas 12 e 13. Os resultados obtidos mostram boa uniformidade entre temperaturas e laboratórios, exceto para os valores de GP dos Papéis 1 e 2 a 180 °C obtidos pelo Laboratório 2. Sem excluir nenhum dado, o valor médio para a resistência à tração remanescente é de 13,5% e o valor médio do GP é de 113 para os testes com a razão de materiais para transformadores de potência.

Propriedade	Papel 1		Papel 2		Papel 3	
	Laboratório 1	Laboratório 2	Laboratório 1	Laboratório 2	Laboratório 1	Laboratório 2
<b>Resistência à tração, %</b>	16,67	10,04	12,58	9,82	16,08	9,82
	17,39	13,62	12,41	9,15	16,60	14,58
	16,07	15,00	18,98	12,30	21,41	18,80
<b>Valor médio</b>	16,71	12,89	14,65	10,43	18,03	14,40
<b>GP</b>	121	64	141	29	132	169
	108	40	115	30	115	184
	82	29	108	35	147	101
<b>Valor médio</b>	104	44	121	31	131	151

Tabela 12 - Percentual remanescente da resistência à tração e GP dos papéis kraft termoestabilizados envelhecidos a 180 °C (razão de materiais para transformadores de potência), obtidos pelos Laboratórios 1 e 2.

Propriedade	Papel 1		Papel 2		Papel 3	
	Laboratório 1	Laboratório 2	Laboratório 1	Laboratório 2	Laboratório 1	Laboratório 2
<b>Resistência à tração, %</b>	13,73	8,24	6,85	8,12	12,24	14,31
	15,58	16,71	11,06	16,02	10,42	15,36
	11,70	17,05	9,63	13,27	9,73	15,35
<b>Valor médio</b>	13,67	14,0	9,18	12,47	10,80	15,01
<b>GP</b>	108	127	121	150	161	140
	108	127	108	123	147	143
	128	129	128	127	121	148
<b>Valor médio</b>	115	128	119	125	143	144

Tabela 13 – Percentual remanescente da resistência à tração e GP dos papéis kraft termoestabilizados envelhecidos a 165 °C (razão de materiais para transformadores de potência), obtidas pelos Laboratórios 1 e 2.

Todos os papéis envelhecidos apresentaram valores de GP menores que 182 para as razões de materiais para transformadores de distribuição (Tabela 11) e menores que 151 para as razões de materiais para transformadores de potência (Tabela 12), com alguns valores menores que 31, indicando que os papéis foram muito envelhecidos (degradados). A taxa de envelhecimento do papel isolante também é afetada pela concentração de oxigênio no óleo (Lelekakis et al., 2014). Contudo, nestes experimentos a concentração de oxigênio no óleo não foi medida pelos laboratórios e possíveis variações nas concentrações de oxigênio podem explicar algumas das variações observadas no GP e nos valores da resistência à tração remanescente obtidas pelos dois laboratórios. Outra possibilidade é a

degradação não uniforme do papel ao longo da tira de papel.

## 4 | CONCLUSÃO

Neste estudo foram apresentados apenas os dados obtidos para os papéis envelhecidos em duas temperaturas (180 e 165 °C). Sendo assim, não foi possível realizar o cálculo de vida útil dos papéis testados, porque para isto são utilizadas no mínimo três temperaturas nesses procedimentos. No entanto, considerações importantes puderam ser extraídas destes resultados. Primeiramente, os resultados obtidos neste estudo mostram claramente que o procedimento dos ensaios realizados foi adequado, uma vez que foi possível atingir o fim de vida útil para todas as amostras de papel testados. Embora o procedimento da norma IEEE C57.100 permita escolher a análise do GP ou do percentual remanescente da resistência à tração como critérios de fim de vida útil, este último apresentou menores variações.

Com exceção das medidas de GP, que variaram mais significativamente, os resultados dos testes de ambos os laboratórios se compararam razoavelmente bem, sugerindo que o procedimento também é reprodutível em diferentes laboratórios. Apesar de pequenas diferenças entre os dois laboratórios terem sido observadas para os resultados absolutos de alguns testes, ambos os laboratórios obtiveram resultados comparáveis ao considerar as características de fim de vida para todos os papéis testados. É possível que uma melhor correspondência para os resultados dos testes possa ser obtida através do controle dos procedimentos de teste mais detalhadamente, como o oxigênio dissolvido nas amostras de óleo e o tempo de repouso das células antes da sua abertura.

Os dados obtidos nos dois laboratórios foram satisfatórios, mesmo com o uso de células de teste diferentes, visto que o Laboratório 1 usou células em aço inoxidável e o Laboratório 2 em alumínio. O volume das células também foi significativamente diferente, sendo de 2,6 L para o Laboratório 1 e apenas 0,95 L para o Laboratório 2, provando que o procedimento é escalável em uma faixa substancial. Além disso, a boa correlação entre os resultados pode ser relacionada ao uso de dispositivos de alívio de pressão ajustados para valores típicos do transformador, não previsto no procedimento padrão. Esse dispositivo adicional preveniu aumentos anormais de pressão que poderiam afetar o processo de envelhecimento.

Em relação a comparação das séries de distribuição (razão de materiais para transformadores de distribuição) e potência (razão de materiais para transformadores de potência), a série de potência apresentou um percentual remanescente de resistência à tração substancialmente inferior à da série de distribuição nas temperaturas de envelhecimento utilizadas, 180 e 165 °C. Tais dados sugerem que a elevada proporção de *pressboard* de baixa densidade e o valor reduzido de óleo em comparação ao material sólido resultam numa maior degradação do sistema de referência. A comparação dos

papéis de diferentes fornecedores apontou algumas diferenças nos ensaios de resistência à tração, as quais não foram expressivas e os resultados apresentados indicam que o desempenho de todos os papéis foi similar.

Este estudo preliminar mostrou que o procedimento executado funcionou como esperado e que o teste do tubo selado (células de envelhecimento), conforme definido na norma IEEE Std C57.100:2011, é útil para a avaliação térmica da isolação sólida imersa em líquido isolante para transformadores de distribuição e de potência.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradem à Evanne Wang e Robert R. Nunn da DuPont Energy Solutions, de Richmond, Virginia, USA, pela realização dos testes nos papéis kraft termoestabilizados novos e envelhecidos.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Complete document abbreviations definitions active, most current item is contained in these sets standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting.** ASTM D882:2018. United States of America. a

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard practice for preparation of insulating paper and board impregnated with a liquid dielectric.** ASTM D2413:2016. United States of America.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard test methods for moisture content of oil-impregnated cellulosic insulation.** ASTM D3277:2010. United States of America.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard test method for tensile properties of paper and paperboard using constant-rate-of-elongation apparatus.** ASTM D828:2018. United States of America. b

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Measurement of the average viscometric degree of polymerization of new and aged cellulosic electrically insulating materials.** ABNT NBR IEC 60450:2009. Brasil.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYST CHEMICALS – AOAC. **Nitrogen determination by Kjeldahl Method.** AOAC 955.04D:2014. United States of America.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS- IEEE. **Standard for general requirements for liquid-immersed distribution, power, and regulation transformers.** IEEE Std C57.12.00:2015. United States of America.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS- IEEE. **Standard test procedure for thermal evaluation of insulation systems for liquid-immersed distribution and power transformers.** IEEE Std C57.100:2011. United States of America.

LELEKAKIS, N., WIJAYA, J., MARTIN, D., SAHA T., SUSAN, D., KRAUSE, C. **Aging rate of grade 3 presspaper insulation used in power transformers.** IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, v. 21, n. 5, p. 2355-2362, 2014.

## DESENVOLVIMENTO DE MADEIRA PLÁSTICA: COMPÓSITOS HÍBRIDOS POLIPROPILENO/PÓ DE MADEIRA/FIBRA NATURAL

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 05/01/2020

### Terezinha Jocelen Masson

Universidade Presbiteriana Mackenzie  
São Paulo– São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/7538523685244929>  
<https://orcid.org/0000-0002-1339-637X>

### Leila Figueiredo de Miranda

Universidade Presbiteriana Mackenzie  
São Paulo– São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/0218222413589119>

### Antonio Hotêncio Munhoz Junior

Universidade Presbiteriana Mackenzie  
São Paulo– São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/8233884614933594>

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi desenvolver e caracterizar madeira plástica (CMP), obtida a partir da matriz polimérica de polipropileno (PP) com diferentes concentrações de fibra de buriti ( $F_B$ ) e pó de madeira (WF). A fibra de Buriti ( $F_B$ ), tratada com NaOH, foi utilizada como material de reforço, pois acrescenta rigidez e dureza quando agregada a matriz polimérica e o pó de madeira (WF), tratado com titanato de bário ( $BaTiO_3$ ), foi utilizado como reforço particulado pois quando as suas partículas são mescladas com resinas termoplásticas, há um aumento da rigidez do material modificado e podendo aumentar sua resistência química. O CMP pode ser empregado nos vários segmentos da construção civil em serviços de acabamento

e é uma alternativa menos onerosa, mais sustentável e com melhores propriedades físico e químicas, em relação à madeira natural. Os corpos-de-prova  $C_1$  (matriz com 100% de PP);  $C_2$  (90%PP+5% $F_B$ +5%WF);  $C_3$  (80%PP +10% $F_B$ +10%WF) e  $C_4$  (70%PP+15% $F_B$ +15%WF) foram caracterizados por meio dos ensaios mecânicos (tração, flexão, impacto Izod), ensaios térmicos (HDT e Vicat) e ensaios reológicos (índice de fluidez), realizados de acordo com as normas ASTM e ABNT. A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi utilizada para verificar a interação entre reforço/matriz. Foram obtidos compósitos homogêneos e de boa qualidade superficial, com boa interação da matriz com os reforços. A incorporação dos reforços provavelmente provoca, de forma geral, um aumento na resistência à temperatura dos compósitos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Polipropileno. Fibra de Buriti ( $F_B$ ). Pó de madeira (WF). Compósito Híbrido de Madeira Plástica (CMP).

### DEVELOPMENT OF PLASTIC WOOD: HYBRID COMPOSITES POLYPROPYLENE/WOOD POWDER/ NATURAL FIBRE

**ABSTRACT:** The objective of this work was to develop and characterize plastic wood (CMP), obtained from the polymeric matrix of polypropylene (PP) with different concentrations of buriti fiber ( $F_B$ ) and wood powder (WF).  $F_B$  was treated with NaOH, and WF, with barium titanate ( $BaTiO_3$ ). The CMP can be used in the construction segment - alternative less costly, more sustainable and with good physicochemical

properties, in relation to natural wood. The specimens  $C_1$  (100% PP);  $C_2$  (90% PP + 5%  $F_B$  + 5% WF);  $C_3$  (80% PP + 10%  $F_B$  + 10% WF) and  $C_4$  (70% PP + 15%  $F_B$  + 15% WF) were characterized by mechanical tests (traction, flexion, Izod impact), thermal (HDT and Vicat) and fluidity index. Scanning electron microscopy was used to verify the interaction between reinforcement/matrix. Homogeneous and good surface quality composites were obtained with good interaction of the matrix with the reinforcements. The incorporation of the reinforcements provoked, in general, an increase in the resistance of the composites.

**KEYWORDS:** Polypropylene. Natural fibers. Buriti fiber ( $F_B$ ). Wood powder (WF). Plastic Wood (CMP).

## 1 | INTRODUÇÃO

A fabricação de madeira plástica para utilização na construção civil como substituto da madeira convencional, é um fator sustentável e um grande aliado do meio ambiente (TAVARES, et al, 2017), além de apresentar baixo custo, ser passível de reciclagem e com aplicações em diversos ramos da indústria, como no setor automotivo e de construção civil (GUAMÁ, et al, 2008).

De acordo com Callister e Tethwisch (2012), os polímeros vêm substituindo os materiais tradicionais, apresentando alto grau de confiabilidade com vantagens sobre os materiais convencionais, como baixa densidade, maior flexibilidade de projeto e economia na produção.

Os polímeros reforçados com mais de um tipo de reforço são denominados de conjugados híbridos, os quais vem despertando grande interesse para a pesquisa, pois permitem obter-se materiais com propriedades diferenciadas em relação aos compósitos comuns, cujas possibilidades de novas aplicações aumentam. Atualmente a busca pela utilização de fibras naturais para o reforço de materiais poliméricos tem se destacado, pois além de reforçar o polímero, são biodegradáveis, leves (baixa densidade), não possuem características abrasivas (menor desgaste dos equipamentos no processamento), e boa resistência mecânica (OLIVEIRA, PAIVA, BOTARO, 2014; TROMBETA, 2010).

As fibras naturais são resistentes, abundantes, não-tóxicas, de baixo custo e provêm de fontes renováveis, podendo servir como um ótimo agente de reforço para os polímeros (GIANELLI, FERNANDES, 2016).

A aplicação da fibra de buriti ( $F_B$ ) em materiais compósitos vem sendo estudada, devido ao seu custo/benefício, facilidade de obtenção e de degradação sem emissão de poluentes (AFONSO, 2008; BARBOSA, 2011). O buriti é uma palmeira de ampla ocorrência na América do Sul, sendo que no Brasil os principais produtos são a fibra, a polpa e o óleo cosmético (SANTOS, 2008; SANTOS, et al, 2008).

Poucos estudos mostram o potencial de reforço da  $F_B$  (Mauritia Flexuosa), abordando a possibilidade de substituição das fibras sintéticas. De acordo com Santos e outros (2008), pela caracterização microestrutural e mecânica da  $F_B$  para utilização como reforço em

compósitos poliméricos, apresentou densidade 0,770 g/cm<sup>3</sup>, inferior à densidade da água, valores próximos encontrados para outras fibras, conforme consta da Tabela 1.

Propriedade	Unidade	Valor Numérico
Densidade ( $\rho$ )	g/cm <sup>3</sup>	0,63 – 1,12
Resistência à Tração	MPa	684
Tensão Máxima ( $\sigma$ )	MPa	129 - 254
Módulo de Elasticidade	GPa	36,26
Resistência Específica		97,70
Módulo Específico		5,18

Tabela 1: Valores de Algumas Propriedades Mecânicas para Fibras de Buriti [11]

Entende-se por materiais particulados, qualquer carga de baixa granulometria, passível de ser incorporada a uma matriz polimérica. O pó de madeira (WF), uma carga orgânica das mais comuns e baratas, é obtido a partir do beneficiamento da serragem que é qualquer rejeito obtido no processo de industrialização da madeira, um complexo polimérico natural e sobretudo um recurso renovável, importante fator do ponto de vista ecológico (BARBOSA, et al, 2012; masson, 1998). O tipo de madeira da qual a serragem provém é de alta importância, sendo as melhores serragens (para o fim citado), obtidas de madeiras macias, tais como a de pinho, pinus, abeto, entre outras (STARK, CLEMONS, 1997).

O Polipropileno (PP) é um dos termoplásticos mais utilizados nos diversos ramos da indústria, como material carregado ou reforçado, que pelas suas boas propriedades é um dos polímeros de maior volume de comercialização (POLETTI, 2017). É uma resina de baixa densidade que oferece um bom equilíbrio de propriedades térmicas, químicas e elétricas, acompanhadas de resistência moderada, que podem ser significativamente melhoradas com a adição de reforços (ULLOA, MIRANDA, ANDRADE e SILVA, 2009).

O presente trabalho estudou o desenvolvimento e caracterização do material híbrido (madeira plástica), formado pela matriz de polipropileno (PP) com diferentes concentrações de fibra de buriti ( $F_B$ ) tratada com NaOH e pó de madeira (WF), tratado com titanato de bário ( $BaTiO_3$ ).

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A fibra de buriti ( $F_B$ ) foi fornecida pela Empresa Sisalsul Fibras Naturais e o pó de madeira (WF) pela Pinhopó Moagem de Madeira.

Obtenção dos Corpos de Prova: Os reforços foram incorporados à matriz de PP, nas seguintes concentrações: Compósito  $C_1$ -PP<sub>puro</sub>; Compósito  $C_2$  - (90%PP+5% $F_B$ +5%WF);

Compósito C<sub>3</sub> - (80%PP+10%F<sub>B</sub>+10%WF); Compósito C<sub>4</sub> - (70%PP+15%F<sub>B</sub>+15%WF).

A fibra de Buriti e o pó de madeira, foram previamente tratadas com NaoH (F<sub>B</sub>) e titanato de bário (WF), visando melhorar as interações da matriz com os reforços.

Tratamento da fibra de Buriti (F<sub>B</sub>): A F<sub>B</sub> foi inicialmente cortada em um comprimento de aproximadamente 5cm e tratada com uma solução de NaOH a 10m% por 2 horas. Posteriormente, o material foi lavado até pH neutro e colocado em estufa para secagem por 24h (50°C).

Tratamento do pó de madeira (WF): O WF foi tratado com uma solução obtida com 20g de titanato de bário dissolvido em 1L de etanol a 5m% com pH de 4,5 (corrigido com ácido acético), por 5 minutos. Posteriormente o material foi levado à estufa para secagem por 3 horas, a uma temperatura aproximada de 65°C.

A incorporação da fibra de buriti e do pó de madeira à matriz polimérica foi realizada por meio de um misturador fechado (M.H. Equipamentos Ltda.) e, posteriormente os compósitos obtidos foram injetados para obtenção dos diferentes corpos de prova.

Caracterização dos compósitos obtidos:

Os corpos de prova foram caracterizados pelos ensaios mecânicos (tração: ASTM D-638-94; flexão: ASTM D 790-94; impacto Izod ASTM D 2240-97 e dureza Shore D: ASTM D 2240-97), ensaios térmicos (HDT: ASTM D790 e Vicat: ASTM D 1525) e ensaios reológicos (índice de fluidez-ASTM D 1238). A microscopia eletrônica de varredura (MEV-EDS) foi utilizada para verificar a interação entre reforço/matriz.

### 3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise Visual: Foram obtidos compósitos homogêneos e de boa qualidade superficial, com boa interação da matriz com os reforços, conforme a Figura 1.

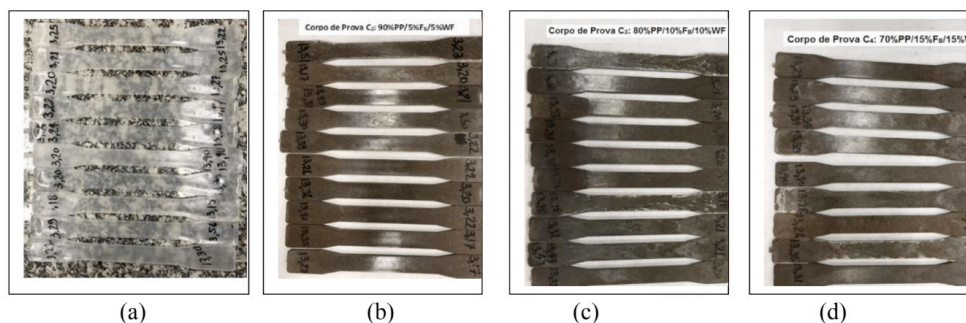


Figura 1 – Corpos de Prova: a) 100PP; b) C<sub>2</sub>; c) C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>



### 3.1 Ensaios do índice de fluidez:

A Tabela 1 apresenta os valores médios dos ensaios do índice de fluidez obtidos para as composições: C<sub>1</sub>: PP puro, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub>, na condição L (T = 230°C e carga de 2,160 kg).

Formulações	PP <sub>puro</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
IF (g/10 min)	19,35 ± 0,01	13,60 ± 0,05	Impossível realizar ensaio por excesso de produção de gás ao esquentar	

Tabela 1 – Resultados dos Ensaios de Índice de Fluidez

A adição da fibra de buriti (F<sub>B</sub>) e do pó de madeira (WF) reduziu o índice de fluidez dos polímeros, pois a presença de reforços na matriz polimérica restringe a mobilidade das macromoléculas, dificultando o fluxo do polímero fundido, e consequentemente aumentando a sua viscosidade.

### 3.2 Ensaios mecânicos

As Tabelas 2 e 3 e os gráficos 1 a 4 apresentam os resultados obtidos para os ensaios mecânicos de tração, flexão, impacto e dureza.

- *Resistência à Tração e à Flexão*: A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para os ensaios de tração e flexão.

Formulações	Resistência à Tração na Ruptura $\sigma_T$ (MPa)	Alongamento sob Tração na Ruptura $\epsilon_B$ (%)	Módulo de Tração na Ruptura $\epsilon_T$ (Mpa)	Resistência à Flexão $\sigma_F$ (MPa)	Módulo de Flexão $\epsilon_F$ (Mpa)
PP <sub>puro</sub>	30,1 ± 0,5	2,7 ± 0,3	2980 ± 90	42,2 ± 1,6	1290 ± 91
C <sub>2</sub>	29,8 ± 0,7	2,6 ± 0,2	4140 ± 21	50,8 ± 0,6	2020 ± 65
C <sub>3</sub>	28,4 ± 0,8	2,1 ± 0,5	4640 ± 31	51,4 ± 0,9	1960 ± 16
C <sub>4</sub>	27,9 ± 0,9	1,4 ± 0,4	5712 ± 154	50,5 ± 3.1	3030 ± 108

Tabela 2 - Resultados obtidos nos ensaios de tração e de flexão

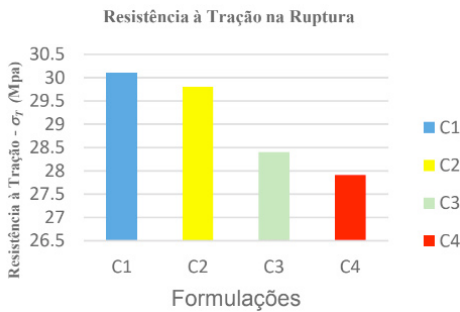


Gráfico 1 – Comparação dos Valores obtidos nos Ensaios de Resistência à Tração entre o PP<sub>puro</sub> e as Formulações C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>

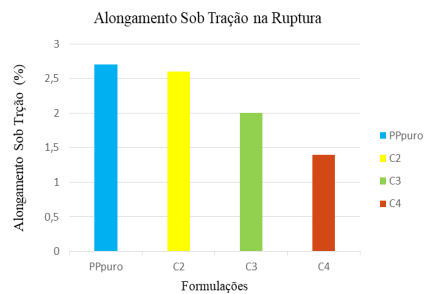


Gráfico 2 – Comparação dos Valores obtidos no Alongamento Sob Tração na Ruptura entre o PP<sub>puro</sub> e as Formulações C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>

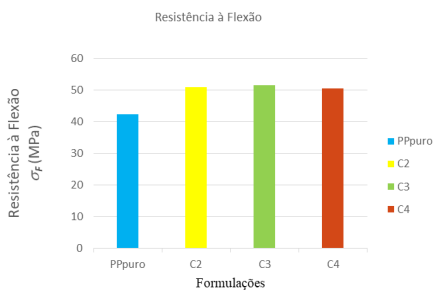


Gráfico 3 – Comparação dos Valores Obtidos nos Ensaios de Resistência à Flexão entre o PP<sub>puro</sub> e as Formulações C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>

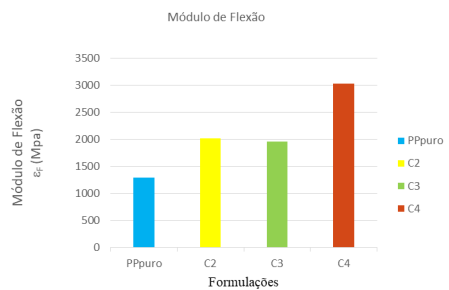


Gráfico 4 – Comparação dos Valores obtidos nos Ensaios de Módulo de Flexão entre o PP<sub>puro</sub> e as Formulações C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>

De acordo com as Tabelas 2 e 3 e os gráficos 1 a 4, observou-se:

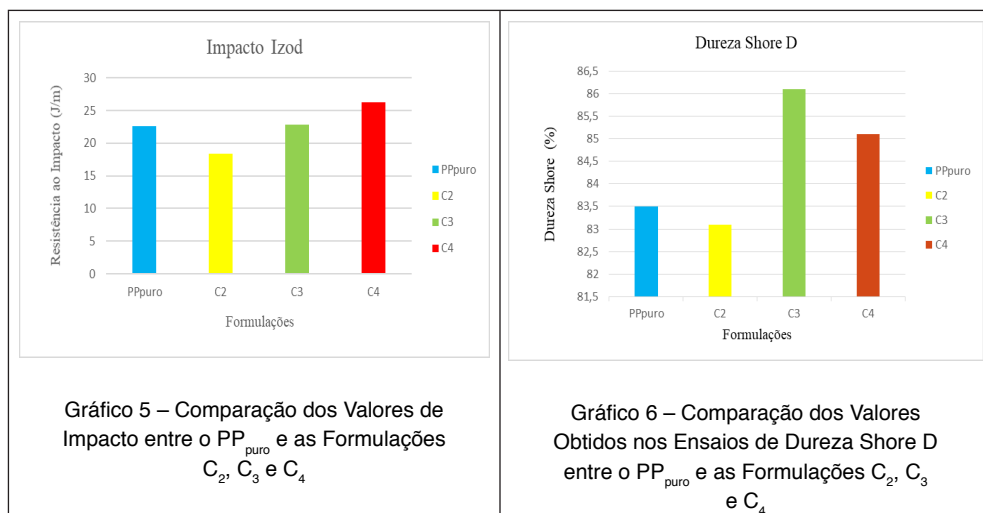
- um decréscimo na resistência à tração (1% para C<sub>2</sub>, 5,7% para C<sub>3</sub> e 7,3% para C<sub>4</sub>);
- um discreto decréscimo no alongamento sob tração na ruptura em ao PPpuro;
- um aumento na resistência à flexão (20% para C<sub>2</sub>, 22% para o C<sub>3</sub> e 20% para o C<sub>4</sub>);
- um aumento no módulo de flexão (57% para C<sub>2</sub>, 52% para o C<sub>3</sub> e 135% para o C<sub>4</sub>).
- Ensaios de Impacto Izod e de Dureza Shore D:

A Tabela 3 e os gráficos 5 e 6 apresentam os resultados obtidos para os ensaios de

impacto e de dureza Shore D.

Formulações	PP <sub>puro</sub> (J/m)	C <sub>2</sub> (J/m)	C <sub>3</sub> (J/m)	C <sub>4</sub> (J/m)
Impacto (J/m)	22,6 ± 1,5	18,3 ± 2,0	22,9 ± 1,3	26,2 ± 1,6
Dureza Shore D	83,5 ± 0,5	83,1 ± 1,8	86,1 ± 0,3	85,1 ± 0,7

Tabela 3 – Resultados obtidos nos ensaios de impacto e de dureza Shore D



Por meio dos resultados obtidos observa-se que com aumento das concentrações da F<sub>b</sub> e do WF, em relação ao PP puro:

- ocorre um aumento na resistência ao impacto de 1,3% para C<sub>3</sub>; 16,2% para o C<sub>4</sub> e uma redução de 18,8% para o C<sub>2</sub>;
- praticamente não houve variação na dureza dos compósitos obtidos.

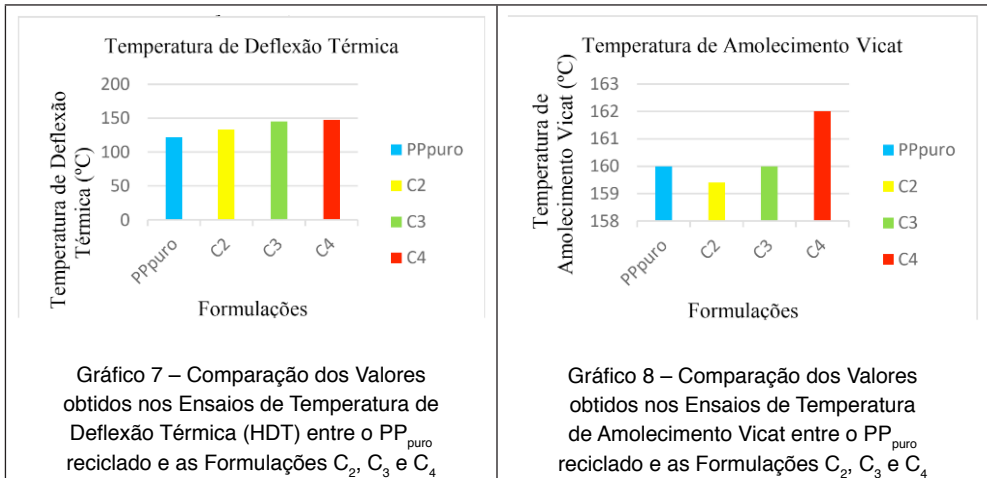
### 3.3 Ensaios térmicos

A Tabela 4 e os gráficos 7 e 8 apresentam os resultados obtidos para a temperatura de deflexão térmica (HDT) e para a temperatura de amolecimento Vicat.

- Ensaios de Temperatura de Deflexão Térmica: A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para a Temperatura de deflexão térmica (HDT) dos valores obtidos.

Formulações	PP <sub>puro</sub> (°C)	C <sub>2</sub> (°C)	C <sub>3</sub> (°C)	C <sub>4</sub> (°C)
HDT (°C)	121,0 ± 0,6	133,1 ± 0,2	146,2 ± 0,3	147,1 ± 0,2
Temperatura de Amolecimento Vicat (°C)	160,1 ± 0	159,4 ± 0,1	160,0 ± 0,3	161,3 ± 0,1

Tabela 4 – Resultados obtidos nos ensaios de temperatura de deflexão térmica (HDT) e temperatura de amolecimento Vicat

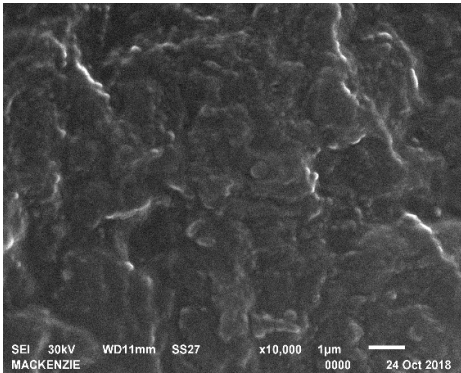


Por meio dos resultados obtidos observa-se que com aumento das concentrações da F<sub>B</sub> e do WF, em relação ao PP puro:

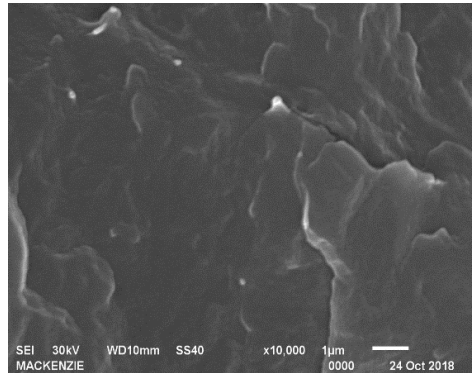
- ocorreu um aumento na HDT (9,9% para o C<sub>2</sub>, 20,7% para o C<sub>3</sub> e 21,5% para o C<sub>4</sub>);
- praticamente não houve variação na temperatura de amolecimento Vicat.

### 3.4 Microscopia eletrônica de varredura (mev) com eds:

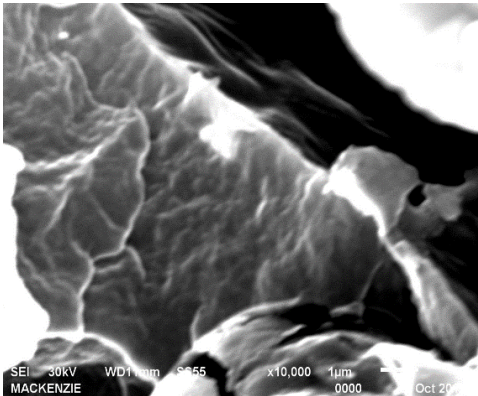
As Micrografias 1 a 4 apresentam as microestruturas das composições com 10000 vezes de aumento.



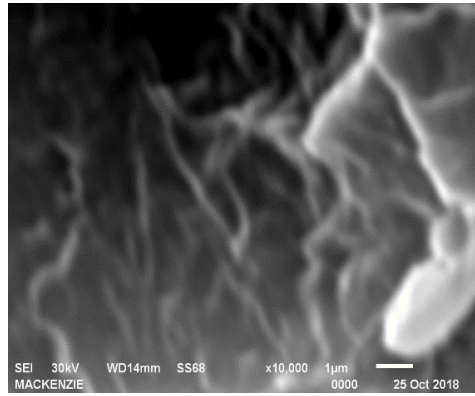
Micrografia 1 – PP<sub>puro</sub> com 10000 vezes de aumento.



Micrografia 1 – PP<sub>puro</sub> com 10000 vezes de aumento



Micrografia 3– C<sub>3</sub> com 10000 vezes de aumento



Micrografia 4 – C<sub>4</sub> com 10000 vezes de aumento

- Por meio das micrografias obtidas, pode-se observar que houve uma boa dispersão do pó de madeira na matriz PP mas não houve uma boa adesão da matriz de polipropileno à fibra de buriti.
- Por meio da *Espectroscopia por Energia Dispersiva - EDS (Energy Dispersive Spectroscopy)* observou-se que a maior cristalinidade se deu para as concentrações de 5 e 15% de pó de madeira.

## 4 | CONCLUSÃO

Por meio dos resultados obtidos pode-se concluir que aumento da concentração do pó de madeira e da fibra de buriti nos compósitos obtidos:

- Provocam um aumento no índice de fluidez, no módulo de tração, na resistência

à flexão e no módulo de flexão, na resistência ao impacto e na temperatura de distorção térmica;

- Provocam um decréscimo na resistência à tração e no alongamento na ruptura e praticamente não altera os valores de dureza e da temperatura de amolecimento Vicat;
- Os resultados indicam que houve baixa adesão da fibra de buriti à matriz de PP e que houve uma boa incorporação do agente de acoplagem titanato de bário ao pó de madeira.

## REFERÊNCIAS

AFONSO, S.R.. Análise Preliminar das Cadeias do Pequi e do Buriti, em nível Nacional e Identificação de Territórios Estratégicos. Relatório do Projeto PNUD BRA 99/025, 2008.

BARBOSA, A.P., Características Estruturais e Propriedades de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras de Buriti. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, 2011.

BARBOSA, A.P.; OLIVEIRA, M .P.; CRESPO, A.S.; SANTOS, N.S.S. MARGEM; MARGEM, F. M.; MONTEIRO, S.N.. Correlation between the density and the diameter of buriti fibers. The Minerals, Metall, Materials Society, 2012.

CALLISTER, W.D.; D. G. RETHWISCH, D.G. CIÊNCIA e Engenharia de Materiais uma Introdução, Ed. LTC, 8ª Ed., 2012.

ENGLISH, B.; STARK, N.; CLEMONS. C. Weight reduction: Wood versus mineral fillers with polypropylene. In Proc 4th International Conference on Woodfiber–Plastic Composites, Madison, WI, 1997.

GIANELLI; N.L. FERNANDES, G. Reciclagem de Polipropileno Reforçado com Fibra Natural para Objetos Injetados de Uso Geral. 2016. TCC. UPM, São Paulo, 2016.

GUAMÁ F.F.M.C.; COSTA, R.V.A.; ROCHA, H.L.; INSENSEE, F.V.; L. L. Futuro. Lixo Plástico - de sua produção até a madeira plástica. In anais do 28° Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2008.

MASSON, T.J.. Desenvolvimento e Reciclagem do Polipropileno Modificado pela Presença de Cargas Híbridas. Tese de Doutorado. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 1998

POLETTTO, M. Compósitos termoplásticos com madeira - uma breve revisão. Revista Interdisciplinar de Ciência Aplicada, n. 4, 2017.

OLIVEIRA, R.M; PAIVA, J. M. F.; BOTARO, V.R.. Compósito de poliuretano elastomérico reforçado com fibras de juta: estudo das propriedades dinâmico–mecânicas e viscoelásticas. Revista Iberoamericana de Polímeros, n. 15, p. 5, Set. 2014.

SANTOS, N.S.; DIAS, C.G.B.T; SANCHES, E. M. S; ZAVAGLIA, C.A.; ALBUQUERQUE, E. L. Caracterização microestrutural e mecânica da fibra de Miriti para utilização como reforço em compósitos poliméricos. In anais do 18º CBECiMat, Porto de Galinhas, PE, Brasil, 2008.

SANTOS, N.S.S. Análise experimental e teórica do comportamento mecânico sob carregamentos quase-estáticos de compósitos reforçados com fibras vegetais. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010;

TAVARES, P.H.C.P.; ANDRADE, A.C. F.; BELÉM, A. P. C.; DORNELLAS, M. R.; GOMES, N. G. D. Eco-Compósito de Madeira Plástica Produzido com Acabamento Rústico da Superfície por Gravação à Laser. In anais do 8º Congresso Brasileiro de Eng.de Produção, Ponta Grossa, 2017.

TROMBETTA, E.. Utilização de Fibra Natural de Pinus como reforço em componentes automotivos compostos de polipropileno. Dissertação de Mestrado – Univ.Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

ULLOA, M. A. E.; MIRANDA, L.F.; ANDRADE E SILVA, L.G. Estudo da Radiação Ionizante em Compósito de Polipropileno/fibra de vidro “longa”. In anais 10º Congresso Brasileiro de Polímeros, Foz do Iguaçu, 2009.

## AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE EXTRATO DE LIGNINA OBTIDO A PARTIR DA HIDRÓLISE ALCALINA DA CASCA DE CAFÉ

*Data de aceite: 01/03/2021*

*Data de submissão: 11/01/2021*

### **Beatriz Leite**

Campus Alto Paraopeba. Universidade Federal de São João del-Rei  
Ouro Branco, MG / Brasil

### **Daniel Vieira Mendes**

Campus Alto Paraopeba. Universidade Federal de São João del-Rei  
Ouro Branco, MG / Brasil

### **Matheus de Souza Santos**

Campus Alto Paraopeba. Universidade Federal de São João del-Rei  
Ouro Branco, MG / Brasil

### **Thiago Wilker Souza do Carmo**

Campus Alto Paraopeba. Universidade Federal de São João del-Rei  
Ouro Branco, MG / Brasil

### **Renata Carolina Zanetti Lofrano**

Campus Alto Paraopeba Universidade Federal de São João del-Rei  
Ouro Branco, MG / Brasil

### **Boutros Sarrouh**

Campus Alto Paraopeba Universidade Federal de São João del-Rei  
Ouro Branco, MG / Brasil

**RESUMO:** Diversos resíduos sólidos são gerados do beneficiamento do café, como a casca, polpa e mucilagem. As cascas de café não

possuem nenhuma aplicação em larga escala, contudo em razão da composição química e propriedade organoléptica semelhante as dos grãos, essa matéria-prima tem despertado grande interesse. Assim, sabe-se que estes resíduos são ricos em substâncias fitoquímicas bioativas, como antioxidantes, vitaminas e sais minerais. Sendo assim, este trabalho avaliou-se a atividade antioxidante do extrato alcalino da lignina obtido a partir de casca de café. O mesmo foi caracterizado pela quantificação do conteúdo de moléculas bioativas, como os fenóis totais, flavonoides e taninos. Para a atividade antioxidante foram realizados ensaios *in vitro* utilizando a levedura comercial *Saccharomyces cerevisiae* como modelo adequado para pesquisas de estresse oxidativos por possuir metabolismo semelhante ao de eucariotos superiores (citocromo P450). A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que o método de extração do licor da lignina por hidrólise alcalina foi eficiente, pois foi observado a liberação de moléculas bioativas com valores médios de 3408 ( $\pm 130$ ) mg de fenóis totais, 615 ( $\pm 80$ ) mg de flavonoides e 300 ( $\pm 9$ ) mg de taninos em 100 g de casca. Em relação à atividade antioxidante em estirpes de leveduras, determinou-se que utilizando uma concentração do extrato de 5g de casca /L de solução alcalina foi possível manter a integridade celular da levedura estudada em 97%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biomoléculas, casca de café, lignina, antioxidante, biorrefinaria.



## EVALUATION OF THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF LIGNIN EXTRACT OBTAINED FROM THE ALKALINE HYDROLYSIS OF THE COFFEE HUSK

**ABSTRACT:** Several solid wastes are generated from coffee processing, such as husk, pulp and mucilage. Coffee husks have no large scale application, however due to the chemical composition and organoleptic properties similar to those of beans, this raw material has been of great interest. Thus, these wastes are known to be rich in bioactive phytochemicals such as antioxidants, vitamins and minerals. Thus, this work evaluated the antioxidant activity of alkaline lignin extract obtained from coffee husk. The extract was characterized by the quantification of its content in bioactive molecules, such as total phenols, flavonoids and tannins. For antioxidant activity, *in vitro* assays were performed using a commercial yeast strain of *Saccharomyces cerevisiae*. This yeast represents an appropriate model for oxidative stress research due to its metabolism similar to that of higher eukaryotes (cytochrome P450). From the results obtained, it was concluded that the method of extraction of lignin liquor by alkaline hydrolysis was efficient, since it was observed the release of bioactive molecules with mean values of 3408 ( $\pm$ 130) mg of total phenols, 615 ( $\pm$ 80) mg of flavonoids and 300 mg ( $\pm$ 9) mg of tannins in 100 g of husk. Regarding to yeasts antioxidant activity assays, it was determined that using a concentration of the extract of 5g of husk / L of alkaline solution it was possible to maintain the cellular integrity of the studied yeast in 97%.

**KEYWORDS:** Biomolecules, coffee husk, lignin, antioxidant, biorefinery.

### 1 | INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de café no mundo, em 2020 foi responsável pela produção correspondente 61,62 milhões de sacas de 60kg, o que representa um aumento de 25% em relação à safra de 2019 (CONAB, 2020). A espécie de café arábica representa mais de 70% da produção brasileira (OIC, 2015). Nesta mesma proporção gera-se grande quantidade de resíduos sólidos, constituído de casca, polpa e mucilagem. Estima-se que 50% do volume total de café beneficiado equivalem à quantidade de casca de café gerada, resultando em um subproduto disponível em larga escala (CAIELLI, 1984). Atualmente, não há nenhuma aplicação em larga escala para a casca de café, embora alguns autores citem seu uso na alimentação animal e adubo orgânico. Este subproduto de baixo custo possui composição química e propriedades organolépticas semelhantes com as dos grãos, apresentando pectina, açúcares fermentáveis, polifenóis e outros. (OIC, 2015; BADOCHA; COSTA; LEÔNIDAS, 2003; VANDERBERGHE *et al.*, 1999).

Do ponto de vista da composição da matéria prima, existem quantidades elevadas de substâncias fitoquímicas bioativas como antioxidantes naturais e/ou outros também de interesse indústrias, como vitaminas, fibras, pigmentos e sais minerais. Portanto, a casca de café pode se tornar uma matriz vegetal promissora para obtenção de fitoquímicos, em especial as moléculas antioxidantes, de aplicação diversificada com designação em setores como indústria farmacêutica e cosmética (ESQUIVEL; JIMÉNEZ, 2012; COSTA *et al.*, 2014; JIMENEZ-ZAMORA *et al.*, 2015).

Em suma, neste trabalho a casca de café foi utilizada como matéria-prima para um processo de hidrólise alcalina, obtendo-se um produto nomeado como licor de cascas e rico em moléculas bioativas (compostos fenólicos) de interesse comercial. Sendo também realizado sua caracterização por meio da quantificação dos fenóis totais, flavonoides e taninos. Subsequentemente de ensaios em células da levedura comercial *Saccharomyces cerevisiae*, como forma de avaliar a atividade antioxidante destes fenóis em organismos complexos.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Biorefinarias e resíduos agroindustriais

O conceito de biorrefinaria abrange instalações industriais capazes de integrar processos de conversão de biomassa em biocombustíveis, insumos, materiais, alimentos, ração e energia. Esse tipo de instalação integra diversas rotas de conversão de biomassa, sendo elas bioquímicas, microbianas, químicas e termoquímicas. Tendo como importância o aproveitamento integral da biomassa, agregando valor a cadeia produtiva e redução dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de resíduos industriais (BESSA; VASCONCELOS, 2012).

Os produtos gerados a partir dos coprodutos e resíduos são os com maior potencial para agregar valor à cadeia produtiva. E podem ser operadas de duas formas: produtos de grande volume e baixo valor agregado (Etanol) e produtos de baixo volume e alto valor agregado (aditivos, moléculas bioativas e outros) (BESSA; VASCONCELOS, 2012). As biomassas usadas nas biorrefinarias são majoritariamente de madeiras provindas de angiospermas e gimnospermas com composição lignocelulósica (SZENGYEL, 2000). Para Furtado (2013), a casca de café é um subproduto normalmente descartado ao ar livre na própria área onde se localizam os secadores e/ou piladores de café e representa um produto passível de exploração e transformação.

### 2.2 Cascas de café

O café é uma espécie da família das *Rubiaceae* e gênero *Coffea* que possui estrutura morfológica dos frutos composta por: semente (grão de café), endocarpo delgado, mesocarpo aquoso e o exocarpo (também nomeada como casca) (FARAH, 2012; SOUZA *et al.*, 2004). De acordo com Janissen e Huynh (2017), a composição das cascas é semelhante aos grãos de café, tendo diferenças apenas no percentual dos componentes. As cascas possuem basicamente em sua composição carboidratos, celulose, proteínas, lipídeos, minerais e compostos fenólicos, conforme disposto na tabela 1.

Composição	Teor (%)
Carboidratos	57,8
Celulose	43
Hemicelulose	4,3 a 15,37
Ácido clorogênico	12,59
Proteínas	9,2
Lignina	9,3 a 13,56
Taninos	1,31 a 2,97
Cafeína	1,2

Tabela 1: Composição química média da casca do café, em porcentagem (%).

Fonte: Adaptação de Janissen e Huynh, 2017.

São três polímeros que constituem a casca do café: celulose, hemicelulose e lignina. Tanto a celulose e a hemicelulose são polissacarídeos, enquanto a lignina é um polifenol. No vegetal, estes polímeros possuem função na rigidez e integridade da estrutura física pela formação de ligações covalentes e não-covalentes (SCHEUFELE, 2012).

### 2.3 Compostos fenólicos

Os flavonoides são um grupo que compreende compostos fenólicos presentes em frutas e vegetais e estão na forma de flavonóis, flavonas, flavanonas, catequinas, antocianinas, isoflavonas e chalconas. E os não-flavonoides são os compostos derivados dos ácidos hidroxicinâmico e hidroxibenzoico. A capacidade antioxidante dos não-flavonoides está relacionada com os grupos hidroxilas e proximidade do grupo  $-CO_2H$  ao grupo fenil, assim quanto maior a proximidade desses grupos, maior será a capacidade antioxidante. Alguns exemplos são ácido salicílico, gálico, elágico e vanílico (ROLIM *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Os taninos são moléculas fenólicas, responsáveis pela característica de adstringência dos vegetais e subdivididos em dois grupos: taninos hidrolisáveis e taninos condensados. O grupo dos taninos hidrolisáveis abrange aqueles encontrados em dicotiledôneas herbáceas e lenhosas; e taninos condensados em gimnospermas e angiospermas (SANTOS; MELO, 2004). No vegetal, a produção desse fenol está condicionada a índices pluviométricos e fatores edáficos (ARAÚJO, 2008).

Essas moléculas fitoquímicas atuam na manutenção do equilíbrio de radicais livres. Quando há uma tendência a produção de radicais livres, o organismo entra em stress oxidativo que pode ocasionar a oxidação e danificação de lipídeos, proteínas e DNA, inibindo seu funcionamento normal e provocando diversas doenças. Dessa forma, as moléculas antioxidantes são capazes de promover a defesa da célula, incluindo enzimas e

não-enzimas (FERREIRA; ABREU, 2007).

## 3 | METODOLOGIA

### 3.1 Hidrólise alcalina

Por meio da determinação do teor de umidade da casca de café, realizou-se o processo de hidrólise alcalina para deslignificação da casca. Posteriormente, pesou-se 5,0 g de cascas secas em balança analítica (Marca: Shimadzu) que foram adicionadas a 50 ml de uma solução de hidróxido de sódio com concentração de 4% m/v, em uma proporção sólido/líquido fixada como 1:10. Essa mistura foi transferida para garrafas autoclaváveis de 1 litro e colocadas em autoclave (Primatec) a 120°C por 30 minutos. Em seguida, a mistura autoclavada foi conduzida a filtração a vácuo e armazenagem em garrafas âmbar sob refrigeração a 4°C. O produto obtido nessa etapa foi denominado como "licor de cascas" e utilizado para quantificação de fenóis totais, flavonoides e taninos.

### 3.2 Quantificação dos fenóis totais

Os fenóis totais foram quantificados pelo método de Folin-Ciocalteu (SLINKARD; SINGLETON, 1977). O licor de cascas foi diluído na proporção de 1:500 em balão volumétrico de 250 ml. Preparou-se uma solução de carbonato de sódio com a dissolução de 20 g de carbonato de sódio em 100 ml de água. Depois, adicionou-se 3200  $\mu\text{L}$  diluição do licor de cascas com 200  $\mu\text{L}$  de reagente de Folin-Ciocalteu 2N por 5 minutos e adiciona-se 600  $\mu\text{L}$  da solução de carbonato de sódio. As soluções em triplicatas foram incubadas em temperatura ambiente, na ausência de luz, durante 30 minutos. Após o período de incubação, leram-se as absorbâncias a 760 nm contra o branco (água, reagente Folin-Ciocalteu e carbonato de sódio). As concentrações de fenóis totais foram calculadas por meio de uma curva padrão de ácido gálico, previamente construída.

### 3.3 Quantificação dos flavonoides

Os flavonoides foram determinados pelo método desenvolvido por Dowd (ARVOUET-GRAND *et al.*, 1994). Para a determinação do conteúdo da amostra foi realizada a diluição de 100  $\mu\text{L}$  de licor de casca de café em 50 ml de água destilada. Subsequentemente, foram misturados 500  $\mu\text{L}$  de uma solução de cloreto de alumínio ( $\text{AlCl}_3$ ) a 2% em metanol com 500  $\mu\text{L}$  do licor de cascas. Após 10 minutos de tempo de reação, a leitura a absorbância foi realizada a 425 nm contra um branco (500  $\mu\text{L}$  de metanol com 500  $\mu\text{L}$  de cloreto de alumínio). Para determinação da massa de flavonoides, adotou-se a curva padrão de quercetina previamente obtida.

### 3.4 Quantificação dos taninos

O ensaio de quantificação de taninos foi realizado em acordo com o método de Brune e coautores (1991). O volume de 2 ml de licor de cascas é misturado com 8 ml de solução reagente de sulfato férrico de amônio (Solução reagente-FAS). A solução reagente (FAS) consiste em 89% de tampão de uréia:acetato, 10% de solução de goma arábica 1% em água deionizada e 1% de solução de sulfato férrico de amônio 5% em ácido clorídrico 1M. Após o tempo de reação de 15 minutos, leu-se a absorbância com comprimento de onda de 578 nm, tendo os resultados expressos através de uma curva padrão de ácido gálico.

### 3.5 Avaliação da atividade antioxidante "in vitro"

Para determinação da atividade antioxidante, retirou-se uma alíquota de  $2 \times 10^{-6}$  células/mL, provenientes da fase exponencial de crescimento da levedura *Saccharomyces cerevisiae* na fase exponencial de crescimento e adicionou-se em diferentes concentrações de licor de casca de café e incubadas a 28°C em *shaker* por 72 horas. As concentrações adotadas foram 25 g/L, 5 g/L e 2,5 g/L de licor em meio YEPD completo, constituído de 2% glicose, 1% de extrato de levedura e 2% de peptona. A cada 24 horas, retirou-se 100 µL do crescimento microbiano, diluiu-se em 900 µL de água destilada. A seguir transferiu-se para um microtubo as células diluídas e o corante azul de metileno na proporção 1:10, sendo retirado dessa diluição 10 µL para o preenchimento da câmara de Neubauer.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Compostos fenólicos

A umidade da casca de café foi determinada como de 12% e após a hidrólise alcalina o pH do licor de cascas foi aferido como 14. Esse processo de deslignificação teve o objetivo de liberação dos compostos fenólicos com propriedades antioxidantes presentes na lignina da casca de café. Tendo como resultado, uma solução de coloração escura que foi submetida à quantificação dos fenóis totais, flavonoides e taninos. Os resultados obtidos pela quantificação de fenóis totais estão dispostos na tabela a seguir:

Amostra	Fenóis Totais (mg/L)	Fenóis Totais (%)
Hidrolisado alcalino de casca de café	3408, 77±130	3,41

Tabela 2: Quantidade de fenóis totais contidos no licor de cascas, em mg/L e porcentagem.

Fonte: Autores, 2018.

Os fenóis totais encontrados na casca de café pelo método de Folin-Ciocalteu foram em média 3408 mg/L ou 3408 mg.100 g<sup>-1</sup> de cascas. Não foi encontrado nenhum método de extração de fenóis totais baseado na hidrólise alcalina da casca de café. Contudo, foram observados valores superiores por este método do que valores de fenóis encontrados na literatura. Garcia e Bianchi (2015), alcançaram os valores entre 72,88 e 159,50 mg.100<sup>-1</sup>g pelo método de extração por acetona. Enquanto Andrade (2011) obteve um valor médio de fenóis totais de 2300 mg.100<sup>-1</sup>g de cascas pelos métodos de Soxhlet, Ultrassom e extração supercrítica (ESC). Em comparação, Baggio e coautores (2007) encontraram valores inferiores de conteúdo fenólicos, 288,64 a 424 mg.100<sup>-1</sup>g.

Em relação ao teor de flavonoides obtidos pela hidrólise alcalina, foram quantificados pelo método de Dowd, anteriormente descrito. Os valores médios do ensaio estão distribuídos na tabela 3.

Amostras	Flavonoides (mg/L)	Flavonoides (%)
Hidrolisado alcalino de casca de café	615,28±80	0,61

Tabela 3: Quantidade de flavonoides contidos no licor de cascas, em mg/L e porcentagem.

Fonte: Autores, 2018.

Os resultados dos flavonoides encontrados foram em média 615 mg por 100 g de cascas (ou 615 mg/L). Segundo Neves (2016), o conteúdo de flavonoides na casca de café pelo método de extração aquosa está entre 8,47 mg.100<sup>-1</sup>g a 13,30 mg.100<sup>-1</sup>g. Enquanto Costa (2012) encontrou os valores de 113,4 a 144,0 mg/L em extrato da pele prata da casca de café pelo método de extração com etanol.

Amostras	Taninos (mg/L)	Taninos (%)
Hidrolisado alcalino de casca de café	300,06±9	0,30

Tabela 4: Quantidade de taninos contidos no licor de cascas, em mg/L e porcentagem.

Fonte: Autores, 2018.

## 4.2 Crescimento celular

Nesse ensaio foi avaliada a atividade antioxidante do licor de cascas de café utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* como modelo biológico. A figura 1 a seguir denota a curva de crescimento ao final do tempo de cultivo.

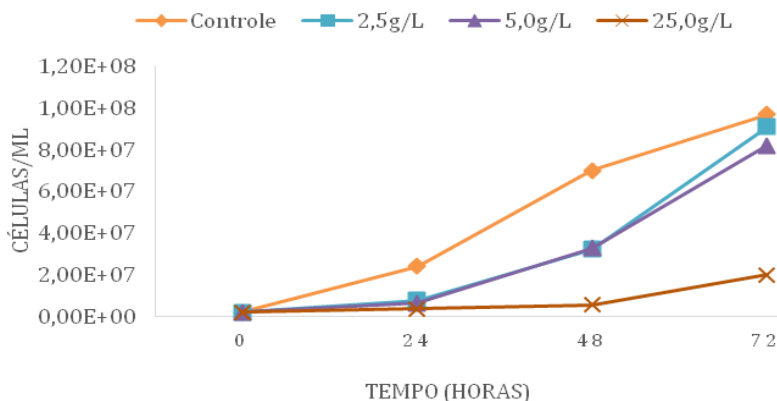


Figura 1: Curvas de crescimento celular submetidas a diferentes concentrações de licor de cascas em g/L no tempo inicial de 0, 24, 48 e 72 horas.

Fonte: Autores, 2018.

É possível observar pelo gráfico que o crescimento celular foi inversamente proporcional ao aumento da concentração do licor de cascas. Assim, demonstrando que o licor em altas concentrações pode inibir o crescimento celular, contudo em concentrações adequadas são promissores como fonte de moléculas antioxidantes. Segundo Ravelani e colaboradores (2010) alguns compostos fenólicos podem exercer inibição no metabolismo de leveduras, afetando tanto na viabilidade celular quanto na reprodução da levedura. Soares (2013) apontou a inibição de leveduras *Saccharomyces cerevisiae* por compostos fenólicos de extratos obtidos pela folha de araticun (*Syzygium cumini*). Essa inibição celular pode ser ocasionada por efeitos na perda da integridade da membrana, tendo como consequência redução da seleção da membrana e assimilação de açúcar (CHANDEL *et al.*, 2012). E Chusnie e Lamb (2005) também afirma que ocorre uma inibição do metabolismo energético. A tabela 5 expressa os efeitos da alta concentração na inibição do metabolismo de leveduras, ou seja, a viabilidade celular.

Concentração do extrato (g de cascas/L)	Viabilidade Celular (%)
0 (controle)	84,0
2,5	92,0
5	97,0
2,5	79,0

Tabela 5: Viabilidade celular de estirpes de *Saccharomyces cerevisiae* submetida a diferentes concentrações de licor de cascas de café em g/L.

Fonte: Autores, 2018.

Em conformidade Alves *et al* (2013), Cushnie e Lamb (2005) atribuíram propriedades antimicrobianas para alguns compostos fenólicos. Apesar da capacidade antimicrobiana conferida aos compostos fenólicos, estudos também apontando resultados contraditórios, pois também demonstram a mesma molécula capacidades de inibição contrárias. Portanto, tais discrepâncias observadas podem explicadas com base na concentração mínima inibitória. Chen e coautores (1990) menciona que estes compostos em dosagem adequada são capazes de doar hidrogênio para os radicais livres promovendo a redução no estresse oxidativo que afeta fortemente na morte celular.

Na figura 2 observa-se que as concentrações de 2,5 g/L e 5 g/L tiveram crescimento celular semelhantes a amostra controle, contudo os valores de viabilidade foram mais elevados. Na amostra acrescida de 5 g/L de licor de cascas verificou-se a viabilidade mais alta no valor de 97%, contudo quando a concentração é aumentada para 25 g/L não é atingido a fase exponencial esperada, isto é, ocorre a inibição do crescimento celular.

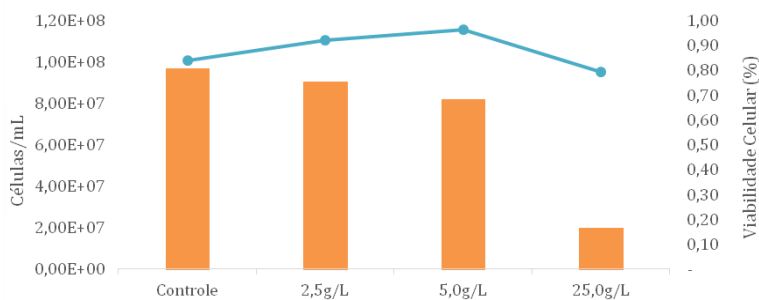


Figura 2: Comparativo entre as escalas de viabilidade celular e o número de células viáveis

Fonte: Autores, 2018.

Halliwell e Gutteridge (2006) citam que os radicais livres podem ocasionar morte celular pela peroxidação dos fosfolipídios pelo radical hidroxil e pela a oxidação de proteínas por glicosilação. Na glicosilação, há danos nos receptores de enzimas, proteínas transportadoras e proteínas responsáveis pela cascata de transdução de sinal. Dalvi (2014) menciona que de modo geral as células possuem certa tolerância aos danos oxidativos gerados pelos radicais, sendo essa tolerância conferida devido ao sistema de defesa antioxidante existente no próprio organismo e também pode haver influências externas de mecanismos não-enzimáticos.

Os mecanismos não enzimáticos sequestram os radicais livres, impedindo a oxidação de proteínas, lipídios e DNA. Sendo também capazes de complexar íons metálicos, inibindo a capacidade destes de participar de reações redox formadoras de radicais livres. Dentre estes mecanismos não-enzimáticos estão os polifenóis, tais como flavonoides e taninos



(DALVI, 2014). Portanto, é possível determinar que quando em quantidades adequadas às moléculas antioxidantes possuem funções importantes na viabilidade celular, conforme a figura 2 anterior.

## 5 | CONCLUSÃO

A extração de moléculas da casca de café utilizando a hidrólise alcalina demonstrou-se como um método eficaz, uma vez que foi possível obter valores de compostos fenólicos, dentre eles: taninos e flavonoides, superiores aos encontrados na literatura. Nos experimentos realizados com estirpes de *Saccharomyces cerevisiae* demonstraram que as moléculas bioativas possuem efeito positivo na conservação da viabilidade celular. Além disso, observou-se que altas concentrações podem ocasionar a inibição do crescimento celular. De modo geral, as moléculas bioativas possuem um lugar importante em diversas indústrias do segmento de alimentos, fármacos e cosméticos em razão de suas propriedades bastante conhecidas. E a consolidação do conceito de biorefinaria, transforma os resíduos agroindustriais em matrizes adequadas para valorização da cadeia produtiva e obtenção destas moléculas. Consequentemente, a casca de café possui grande potencial de aproveitamento na produção de moléculas antioxidantes oriundas da fração de lignina, agregando maior valor econômico a essa cultura agrícola difundida desde os primórdios do Brasil.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a PIBIC/FAPEMIG/UFSJ pelo apoio perante a realização do presente projeto de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ALVES, M. J.; FERREIRA, I.C.; FROUFE, H.J.; ABREU, R.M; MARTINS, A; PINTADO, M. Antimicrobial activity of phenolic compounds identified in wild mushrooms, SAR analysis and docking studies. **Journal of Applied Microbiology**, n.115, v.2, p. 346-357, 2013.

ARAÚJO, T. **Taninos e Flavonóides em plantas medicinais da caatinga: Um estudo de etnobotânica quantitativa**. 2008. 71 f. Dissertação (Mestrado em Pós-Graduação em Ciência Farmacêuticas) - Centro de ciência da saúde, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

ARVOUET-GRAND, A.; VENNAT, B.; POURRAT, A.; LEGRET, P. Standardization d'une extrait de propolis et identification des principaux constituents. **Journal de Pharmacie de Belgique**, v.49, p.462-468, 1994.

BADOCHA, T.E.; COSTA, R.S.C.; LEONIDAS, F.C. Casca de café: um importante insumo para agricultura orgânica. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 3., 2003, Porto Seguro-BA. Anais do III Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Porto Seguro, 2003.

BAGGIO, J.; ARAÚJO, F.A.; FILHO, J.M.; FETT, R. Atividade antioxidante e conteúdo de fenólicos totais em cascas de café (*coffea* arábica, L.). **Italian Journal of food Science**, v.19, n.2, p.191-201, 2007.

BESSA, F.; VASCONCELOS, C. Biorrefinarias. **Agroenergia em Revista**, ano III, n. 4, embrapa agroenergia, 2012.

BRUNE, M.; HALLBERG, L.; SKÅNBERG, A.B. Determination of iron-binding phenolic groups in foods. **Journal of Food Science**, v. 56, n.1, p. 128-132, 1991.

CAIELLI, E.L. Uso de palha de café na alimentação de ruminantes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.10, n.119, p.36-38, 1984.

CHANDEL, A.K.; SILVA, S.S.; CARVALHO, W.; SINGH, O.V. Sugarcane bagasse and leaves: foreseeable biomass of biofuel and bio-products. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v.87, n.1, p.11-20, 2012.

CHEN, J.Y.; KIRCHNER, G.; AEBI, M.; MARTIN, N.C. Purification and properties of yeast ATP (CTP): tRNA nucleotidyltransferase from wild type and overproducing cells. **Journal of Biol Chem**, n.265, v.27, p.16221-4, 1990.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, v. 6- Safra 2020, n. 3 - Terceiro levantamento, Brasília, p. 1-54, setembro 2020.

COSTA, A.S.G.; ALVES, R.C.; VINHA, A.F.; BARREIRA, S.V.P.; NUNES, M.A.; CUNHA, L.M.; OLIVEIRA, M.B.P. Optimization of antioxidants extraction from coffee silverskin, a roasting by-product, having in view a sustainable process. **Industrial Crops Products**, v.53, p.350-357, 2014.

COSTA, A.S. G. **Pele de prata do café: Desenvolvimento de um método sustentável de extração de compostos bioativos**. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e Naturais) - Faculdade de Ciência, Universidade do Porto, Portugal, 2012.

CUSHNIE, T.P.T.; LAMB, A.J. Antimicrobial activity of flavonoids. **International Journal of Antimicrobial Agents**, n .26, p. 343-356, 2005.

DALVI, L. T. **Estudo da capacidade antioxidante do polifenol ácido elágico in vitro e em *Saccharomyces cerevisiae* selvagem e deficiente em superóxido dismutase** 1. 2014. 114 f. Tese (Doutorado em Nutrição Humana) - Faculdade de ciência da saúde, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

ESQUIVEL, P; JIMÉNEZ, V.M. Functional Properties of Coffee and Coffee By-Products. **Food Research International**, 46, 488-495, 2012.

FARAH, A. Coffe Constituents. 2012. Disponível em: < [https://www.ift.org/~media/Knowledge%20Center/Publications/Books/Samples/IFTPressBook\\_Coffee\\_PreviewChapter.pdf](https://www.ift.org/~media/Knowledge%20Center/Publications/Books/Samples/IFTPressBook_Coffee_PreviewChapter.pdf)>. Acesso em 20 abr. 2018

FERREIRA, I.C.F.R.; ABREU, R.M.V. Stress oxidativo, antioxidante e fitoquímicos. **Bioanálise**, n.2, ano IV, 2007.

FURTADO, N.S. **Uso da palha de café como energia alternativa (Biomassa) nos secadores de café conilon em água Branca** □ ES. 2013. Dissertação (Pós graduação em mudanças climáticas), projetos sustentáveis e mercado de carbono, 12 f, Agua branca, 2013.

GARCÍA, L.; BIANCHI, V. Capacidade antioxidante em resíduos da indústria cafeeira. **Revista Brasileira de Tecnologia dos Alimentos**, v.18, n.4, p.307-313, 2015.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J.M.C. Free Radicals in Biology and Medicine, Ed 4. Clarendon Press, Oxford, 2006.

JANISSEN, B.; HYNH, T. Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by products: A review. **Resources conservation & Recycling**, v.128, p.110-117, 2017.

JIMENEZ-ZAMORA, A.; PASTORIZA, S.; HENARES-RUFIÁN, J.A. Revalorization of coffee by-products. Prebiotic, antimicrobial and antioxidant properties. **Food Science Technology**, n, 61, p. 12-18, 2015.

NEVES, J.V. G. **Cascas residuais de café orgânico: Composição química, potencial antioxidante, fatores antinutricionais e aplicação tecnológica**. 2016. 82. Dissertação (Mestrado em Engenharia e ciência de alimentos)- Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, Bahia, 2016.

OIC (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ). Estatística do comércio, 2015. Disponível em: <[http://www.ico.org/pt/trade\\_statistics.asp?section=Estat%EDstica](http://www.ico.org/pt/trade_statistics.asp?section=Estat%EDstica)>. Acesso em 31 dez. 2018

OLIVEIRA, L.L.; CARVALHO, M.V.; MELO, L. Health promoting and sensory properties of phenolic compounds in food. **Food Science and Tecnology**, v.61, 2014.

RAVANELI, G. C. **Qualidade da matéria-prima, microbiota fermentativa e produção de etanol sob ataque de *Mahanarva fimbriolata* em cana-de-açúcar**. 2010. 103 f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agropecuária)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

ROLIM, P.M.; FIDELIS, G.P.; PADILHA, C.E.A.; SANTOS, E.S.; ROCHA, H.A.O.; MACEDO, G.R. Phenolic profile and antioxidant activity from peels and seeds of melon (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus*) and their antiproliferative effect in cancer cells. **Brazilian Journal med Biol res**, v.51, n.4, 2018.

SANTOS, S.C. MELO, J.C.P. 2004. Taninos. In: **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Simões, C.M.O.; Guerra, M.P. et al (orgs) 5ª edição, revisada, ampliada, primeira reimpressão - Porto Alegre/Florianópolis: Editora da UFRGS/Editora da UFSC, 1096p. 2004.

SCHEUFELE, F.B. **Bioconversão de resíduos agroindustriais por micro-organismos do bioama amazônico produtores de enzimas lignocelulolíticas**. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento de Processos) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Engenharia e Ciência exatas, Toledo, 2012.

SOARES, J.J. **Avaliação da atividade antioxidante *in vitro* e *in vivo* de extratos preparados a partir das folhas de *Syzygium cumini* (L.) Skeels**. 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal do Pampa, Uruguaiana, 2013.

SOUZA, F.F.; SANTOS, J.C.; COSTA, J.N.; SANTOS, M.M. **Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 21 p., 2004.

SLINKARD, K.; SINGLETON, V. Total Phenol Analysis: Automation and comparison with manual methods. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 28, p. 49-55, 1977.

SZENGYEL, Z. **Ethanol from wood: Cellulase enzyme production**. 2000. 61 f. Tese (doutorado em Engenharia Química) - Departamento de engenharia química, Lund University, Suécia, 2000.

VANDERBERGHE, L.P.S; PANDEY, A.; LEBEAULT, J.; SOCCOL, C.R. Produção de Ácido Cítrico por *Aspergillus niger* LPB 21 em Fermentação no Estado Sólido com Casca de Café. In: **Seminário Internacional Sobre Biotecnologia na Agroindústria Cafeeira**, 3, 1999, Londrina-PR. Anais IAPAR/UFPR/IRD, Londrina, 1999.

## ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL COM PROFESSORES E ALUNOS, NA ZONA RURAL DO MUNICÍPIO BREU BRANCO-PA

*Data de aceite: 01/03/2021*

*Data de submissão: 15/01/2021*

### **Beatriz Souza da Silveira**

Instituto Federal do Pará  
Tucuruí-PA

<http://lattes.cnpq.br/7444597996958280>

### **Enayle Maria de Freitas Silva**

Instituto Federal do Pará  
Tucuruí-PA

<http://lattes.cnpq.br/0468021149856532>

### **Marcelo Melo dos Santos**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Pará (IFPA)  
Tucuruí - Pará

<http://lattes.cnpq.br/9844090337645776>

**RESUMO:** A educação ambiental constitui-se enquanto estratégia importante na reversão do atual cenário decorrente da ação antrópica, a escola neste contexto, desempenha um papel fundamental, em sua abordagem educativa ambiental, esta tem a função da construção de agentes críticos e disseminadores do conhecimento. O presente trabalho tem como objetivo descrever através de diagnóstico a percepção de professores e alunos sobre Educação Ambiental, na comunidade de Placas Pitinga, zona rural do município de Breu Branco-PA. Do ponto de vista metodológico realizou-se uma abordagem qualitativa, (sem desconsiderar aspectos quantitativos) com aplicação de questionários com vistas a elaboração de um

diagnóstico para expor a compreensão destes sujeitos sobre as problemáticas ambientais. Foram realizados também levantamento bibliográfico e documental que tratam sobre o referido tema. Os resultados apontaram a falta de estrutura adequada e ausência de recursos financeiros como os maiores entraves para o desenvolvimento de uma efetiva abordagem do tema educação ambiental no ambiente escolar. Dito isto percebe-se que a educação ambiental possui ainda, barreiras e, estas trazem desafios ainda maiores pelo fato de estarmos tratando de uma comunidade rural, logo estratégias necessitam ser elaboradas de acordo com exigências de cada localidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Educação Ambiental, zona rural, diagnostico.

### ANALYSIS ON THE PERCEPTION OF ENVIRONMENTAL EDUCATION OF TEACHERS AND STUDENTS IN THE RURAL AREA OF THE CITY BREU BRANCO-PA

**ABSTRACT:** Environmental education is an important strategy in reversing the current scenario resulting from anthropic action, the school in this context, plays a key role in its environmental educational approach, this has the function of building critical agents and disseminators of knowledge. The present work aims to describe through diagnosis the perception of teachers and students about Environmental Education, in the community of Placa Pitinga, rural area of the municipality of Breu Branco-PA, From a methodological point of view, a qualitative

approach was carried out, (without disregarding quantitative aspects) with the application of questionnaires with a view to elaborating a diagnosis to expose the understanding of these subjects about environmental issues. Bibliographical and documentary surveys were also carried out that deal with the referred theme. The results pointed out the lack of adequate structure and the lack of financial resources as the biggest obstacles to the development of an effective approach to the theme of environmental education in the school environment. That said, it is clear that environmental education still has barriers, and these bring even greater challenges because we are dealing with a rural community, so strategies need to be developed according to the requirements of each location.

**KEYWORDS:** Environmental Education, rural area, diagnose.

## INTRODUÇÃO

A percepção da importância da Educação Ambiental, se faz notória nas últimas décadas, visto ao crescente quadro de degradação ambiental proveniente da ação antrópica, neste sentido a inclusão do homem nas ações conservacionistas é indispensável, possível e capaz de diminuir as agressões provocadas ao planeta (BOTELHO, 2017).

A educação ambiental se torna uma estratégia importante na reversão do atual cenário, onde a escola desempenha um papel fundamental, em sua abordagem educativa ambiental, esta tem a função da construção de agentes disseminadores do conhecimento, principalmente as localizadas nas áreas rurais, onde faz o sujeito refletir no meio em que vive. Estando este inserido em um meio rural, tende a entender melhor a educação ambiental quando voltada a sua vivência no campo (LIMA; TRAJANO; SILVA, 2018).

Ainda que presente nos temas transversais dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN'S), EA gera inúmeros questionamentos. Mais do que ensinar termos técnicos e definições, é dever da escola ensinar a amar o ambiente, reconhecê-lo como um lar, respeitando-o e preservando-o. Para que isso ocorra, é necessária a criação de estratégias pedagógicas que envolvam toda comunidade escolar inserida nesse contexto. Todavia cada instituição de ensino deve adaptar sua proposta pedagógica, levando em consideração a diversidade sociocultural regional (SILVA, 2008).

Neste contexto, a escola deve incentivar ações de educação ambiental, logo o papel do professor é abordar o conteúdo de forma interdisciplinar, estimulando os alunos a desenvolver responsabilidade ambiental e a formar cidadãos conscientes dos deveres de proteção ao meio ambiente. Ações diretas dos professores em sala de aula permitem aos educandos uma reflexão e melhor entendimento dos problemas ambientais que afetam a comunidade onde vivem (TAVARES, 2013).

O presente trabalho tem como finalidade descrever através de diagnóstica percepção de professores e alunos sobre Educação ambiental, em uma comunidade da zona rural do município de Breu Branco-PA. O estudo possibilitou uma análise da Escola Municipal de Ensino Fundamental Marci Sebastião Nunes, sendo este uma avaliação do seu sistema de prática envolvendo a temática, bem como o reflexo desta nos seus alunos.

## REFERENCIAL TEÓRICO

A partir da década de 80 a questão ambiental tornou-se um importante foco de atenção. Desde então, os conhecidos desastres ecológicos passaram a fazer parte do cotidiano. A influência do homem no ambiente natural provocou grandes impactos negativos como: a perda e alterações de habitats e da biodiversidade, exploração predatória dos recursos naturais e mudanças climáticas.

De acordo com Silva, Huller e Becker (2011), é necessário que medidas sejam tomadas para minimizar os problemas ambientais e que estas possam ser tão rápidas quando foi o avanço da ação predatória. O atual modo de consumismo exagerado associado ao hábito de extrair da natureza a matéria-prima e depois descartá-la, acarreta consequências drásticas para o equilíbrio natural do planeta.

Segundo a Constituição Federal Brasileira a EA exerce um importante papel no processo de conscientização, logo é necessária a existência de práticas que, articuladas, facilitem com que todos tenham direito ao seu acesso, de acordo com a Lei 9.795/99 de 27 de abril de 1999, art.1º. A EA é um processo no qual um indivíduo ou a comunidade podem construir valores, sejam eles sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes ou práticas voltadas sempre para a conservação do meio ambiente em busca da sustentabilidade (DIARIO OFICIAL DE 28/04/1999, P.1).

A fim de compreender como esses elementos poderiam estar prejudicando o mundo, a ONU (Organização das Nações Unidas) se reuniu com líderes de países para debater tais questões, com vistas à busca de soluções para os problemas de ordem ambiental que afligem o planeta, tendo alguns dos principais eventos ocorridos em Estocolmo, em 1972, e no Rio de Janeiro, em 1992.

Em face dessa realidade o Brasil vem percebendo a importância da EA (Educação Ambiental). Tal preocupação ficou evidente durante o fórum paralelo da Rio-92, com a elaboração do “Tratado de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e Responsabilidade Global”. Um dos seus princípios era que a EA deveria ter como base o pensamento crítico e inovador, independentemente do local e do tempo, em espaços formais ou não, buscando sempre a transformação e construção de uma sociedade sustentável (SILVA, HULLER; BECKER 2011).

A partir das problemáticas ambientais, tornou-se necessária a introdução do tema no ambiente escolar, neste sentido Silva e Melo (2012) sugerem que a inclusão das temáticas deve ser abordada por etapas, incluindo trabalhos de melhoria que visam preparar a população para uma sensibilização ambiental. Através da compreensão de que os problemas ambientais afetam diretamente a qualidade de vida da sociedade, torna-se necessário o debate sobre o presente modelo socioambiental, buscando o entendimento do atual cenário crítico ambiental.

A escola desempenha um importante papel na garantia de um futuro sustentável,

sendo uma instituição privilegiada que forma pequenos cidadãos, uma vez que possui as prerrogativas que possibilitam o estabelecimento de mudanças de hábitos e atitudes do ser humano, formando sujeitos com plena consciência ecológica (SILVA, HULLER; BECKER 2011).

Medeiros *et al.* (2011), apontam a escola como melhor ambiente para implementar a consciência de que o futuro da humanidade depende da relação estabelecida entre o homem e a natureza. Para isso, é necessário que, mais do que informações e conceitos, a escola se proponha a trabalhar com valores e atitudes.

Arnaldo e Santana (2018) consideram que a associação do processo educativo ao enfrentamento dos problemas ambientais sugere que, de modo geral, a procura por soluções para a reversão dos problemas ambientais envolve um trabalho de divulgação, conscientização, construção de saberes, revisão de valores e atitudes e de efetiva transformação social, e esse trabalho assinala a educação como condição indispensável a isso.

Segundo Alves e Pereira (2015), é importante que os projetos voltados a EA incentivem a adoção de práticas que visem a sustentabilidade e a diminuição de qualquer impacto que a atividade humana venha a ter no ecossistema. Através da criação de situações baseadas na rotina de determinadas populações, os atingidos pelos projetos perceberiam a importância e os benefícios em se preservar a natureza.

O ensino da EA no âmbito escolar torna-se um facilitador na sociedade, uma vez que os alunos estarão diretamente sensibilizados da importância de ter um meio ecologicamente equilibrado e como influenciar para que isso aconteça. Implementar a Educação Ambiental nas escolas tem se mostrado uma tarefa exaustiva. Existem grandes dificuldades nas atividades de sensibilização e formação, na implantação de atividades e projetos e, principalmente, na manutenção e continuidade dos já existentes

## **METODOLOGIA**

O presente trabalho caracterizou-se como estudo qualitativo, sem desconsiderar aspectos quantitativos, visto que, o método de pesquisa qualitativo busca entender e interpretar as motivações e significados ao longo do processo, enquanto o quantitativo realça a precisão em medir quantidade, frequência e intensidade de determinado público-alvo (LAKATOS; MARCONI, 2017).

A pesquisa foi realizada na comunidade de Placas do Pitinga do município de Breu Branco-PA, localizada cerca de 43 km da cidade (Figura 1), está conta com aproximadamente 12 mil habitantes. O estudo foi efetuado no mês de setembro/2019 na E.M.E.F Marci Sebastião Nunes (Figura 2), que possui 20 turmas, incluindo 2º, 3º, 4º e 5º ano, tendo como público-alvo 128 alunos das turmas de 5ºano e os seus respectivos professores.





Figura 1- Comunidade Placa do Pintiga-PA.

Fonte: Google Earth



Figura 2- E.M.E.F Marci Sebastião Nunes;

Fonte: Próprios Autores.

Para realização deste estudo, no primeiro momento, foi necessário a aplicação de questionários, com perguntas descritivas e fechadas, com a finalidade de analisar o conhecimento prévio dos alunos e dos professores em relação à temática Educação Ambiental. Os questionários dos alunos continham o total de 10 questões, destas 04 eram descritivas, e 06 fechadas, já nos aplicados aos professores era composto de 14 questões sendo 07 descritivas e 07 fechadas.

No segundo momento foram desenvolvidas apresentações de vídeos (Figura 3) e palestra (Figura 4) relacionando a importância da Educação Ambiental no dia a dia, impactos que são gerados pela falta da mesma e ações que podem contribuir para um meio equilibrado, todo este processo ocorreu de maneira simples, com o intuito de que todos pudessem compreender o assunto com facilidade.



Figura 3- Momento apresentação de vídeos.

Fonte: Próprios autores.



Figura 4- Apresentação da palestra.

Fonte: Próprios autores.

No último momento, com o objetivo da reutilização de copos descartáveis, cada aluno foi responsável por produzir uma muda de planta (Figura 5), os mesmos, ficaram responsáveis pela irrigação, a fim de que a semente viesse crescer. Foram também utilizados mudas de Plantas fornecidas pela Secretária de Meio Ambiente do município de Tucuruí (SEMA), tais como de cupuaçu, jatobá e ipê e estas foram plantadas pelos os alunos ao redor do colégio (Figura 6), com a finalidade de sensibilizá-los sobre a importância de espaços arborizados e o processo de reflorestamento.



Figura 5- Momento da planta de mudas.

Fonte: Próprios autores.



Figura 6- Momento irrigação das mudas.

Fonte: Próprios autores.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

Os dados obtidos apresentaram através da análise descritiva apresentaram que os alunos possuíam um conhecimento frente a temática visto que, as repostas analisadas possuíam uma coerência lógica relacionados as questões ambientais.

A Educação Ambiental atua na conscientização no âmbito escolar para que o cidadão se sensibilize perante as problemáticas ambientais (SILVA; MOTA, 2017). Diante disto, a primeira questão do questionário aplicado continha a seguinte questão: “O que você entende por Educação Ambiental?”. Os resultados obtidos apresentaram respostas como:

“Jogar lixo no lixeiro”

“Não jogar lixos no rio”

“Todos devemos cuidar do meio ambiente”

“Preservar a natureza”

A maioria dos alunos demonstraram conhecimento prévio da temática, sendo isto de extrema importância, pois, a adoção de pequenas ações práticas em favor do meio ambiente

pode reduzir os impactos negativos causados pelo homem, logo através da percepção do real sentido da Educação Ambiental surge como estratégia para as modificações de atividades nocivas ao meio ambiente.

Na segunda questão contida no questionário foi proposto a classificação das questões ambientais em um contexto social, ou seja, o nível de importância que os estudantes consideravam que está possui no cotidiano. Os resultados obtidos (Gráfico 1) apresentaram que 87% dos alunos consideram o assunto muito importante, 11% consideram importante e 2% acreditam não possui importância.

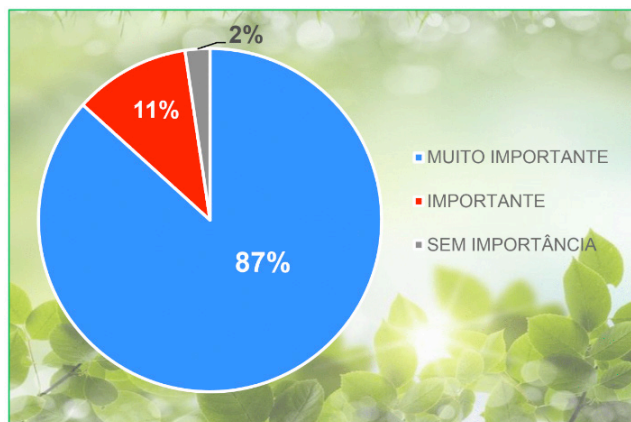


Gráfico 1- As questões ambientais ocupam cada vez mais espaço na sociedade. O que você a respeito da temática?

Segundo Silva e Leite (2008), a Educação ambiental visa ensinar a conhecer as leis naturais e os problemas ambientais, sociais, econômicos, políticos, éticos e culturais; e o aprender a utilizar os recursos ambientais com responsabilidade e de forma sustentável. Neste sentido é indispensável que os alunos tenham a sensibilização referente a importância da temática no ambiente escolar, uma vez que possibilita a discussão crítica das problemáticas ambientais.

Na quarta questão do questionário, que consistia em saber se os alunos cuidavam do meio ambiente ou não, as respostas apresentadas foram coerentes, evidenciando que os alunos entendem que práticas precisam ser desenvolvidas em prol de um meio equilibrado, tais como:

“Economizo água”

“Jogando lixo no lixeiro”

“Não jogando lixo nos rios”

“Sem poluir os rios e os peixes”

Em um contexto social, falar em EA é levar o indivíduo a desenvolver o exercício da cidadania e os cuidados necessários para ter o meio ambiente estabilizado (ANDRIOLI, 2013).

A quinta questão do questionário estava relacionada há quem são os responsáveis pelo surgimento de problemas ambientais na percepção dos alunos. Os resultados colhidos apresentaram respostas como:

“Somos nós”

“Eu”

“Barragem, carro”

“Empresas”

Através das respostas ficou claro que na concepção dos alunos os seres humanos são os principais responsáveis pelos impactos ambientais. Segundo Jacobi (2003), o estudo sobre Educação Ambiental relaciona o homem, a natureza e o universo. Sabendo que os recursos naturais são limitados e as necessidades humanas ilimitadas, o principal responsável pela degradação do meio ambiente é o homem.

Os problemas ambientais interferem na qualidade de vida das pessoas, tanto local quanto globalmente. Com a finalidade de análise da percepção dos alunos em relação ao assunto, foi aplicada a seguinte pergunta: necessário a sétima pergunta: “Os problemas ambientais prejudicam de alguma forma a sua vida?”. Os resultados apresentaram (Gráfico 2) que 76% dos alunos consideram que sim, 23% acreditam que não e 1% dos alunos não opinaram.

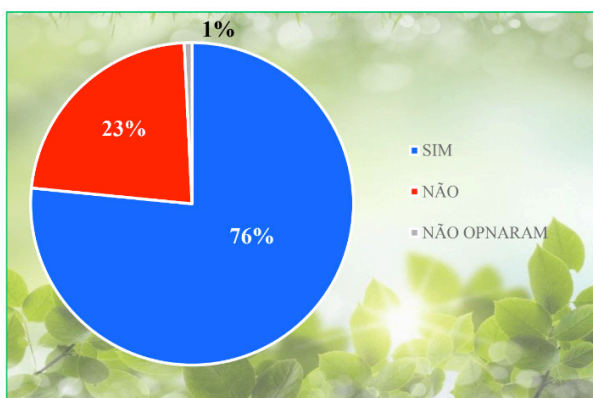


Gráfico 2- Os problemas ambientais prejudicam de alguma forma a sua vida?

Através da pergunta percebeu-se que a maioria dos alunos compreende que os problemas ambientais afetam diretamente as suas vidas. Neste sentido Oliveira e Corona

(2008) acreditam que a partir da compreensão de que os problemas ambientais afetam diretamente a qualidade de vida, torna-se essencial, pois possibilita a construção de cidadãos sensibilizados frente como as ações maléficas ao meio ambientes interferem diretamente no equilíbrio natural entre o homem e a natureza.

Com a finalidade de identificar o local onde os alunos aprendem sobre educação ambiental, fora realidade a pergunta: “Onde você aprende sobre meio ambiente?” Os resultados mostraram (Gráfico 3) que 58% dos alunos aprendia sobre o meio ambiente na escola, 21% na TV, 10% em livros, 6% em casa, 4% na internet e 1% em outros locais.

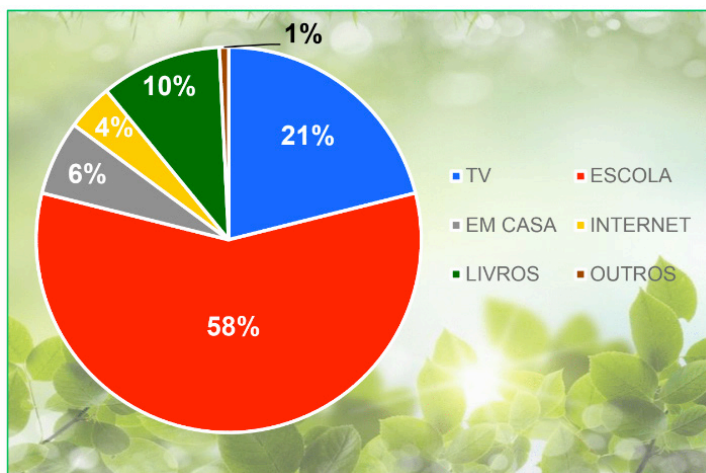


Gráfico 3- Onde você aprende sobre meio ambiente?”

Nesta perspectiva, ensinar os conceitos de educação ambiental, despertando nos alunos uma reflexão sobre nossas ações e propondo soluções para problemas ambientais é papel imprescindível da escola e uma responsabilidade para os professores que buscam numa educação de qualidade, inserir os conceitos na vida social dos alunos (MOURA, 2014).

Os impactos ambientais negativos podem ser evitados através de pequenas ações realizadas a favor do meio ambiente. Nesta perspectiva de compromisso com o meio, a décima questão do questionário consistia em quais soluções os alunos acreditavam que seriam necessárias para ajudar o meio ambiente. Os resultados apresentaram respostas como:

“Não jogar lixo no chão”

“Não jogar lixo nos rios”

“Não poluir o ar”

“Não desmatar”



“Reciclar”

“Plantar mais árvores”

“Cuidando da nossa água”

A fim de tornar real a prática social e a ética ambiental, a EA é trabalhada como responsabilidade de todos os cidadãos, na correlação do ser humano e a natureza, evitando problemas ambientais causados pelo homem (BRASIL, 2016).

De acordo com os resultados obtidos nos questionários aplicados aos professores, foi evidente que todos consideram importante o desenvolvimento da temática no ambiente escolar. Neste sentido, Tavares (2013), afirma que os educadores são peças primordiais no processo de ensino sobre Educação Ambiental, através da conscientização e estímulo a práticas de conservação ambiental.

Para que ocorra o desenvolvimento da temática no ambiente escolar de forma satisfatória, faz-se necessário que os professores possuam o domínio do assunto e estratégias adequadas de sensibilização. Assim, com a finalidade analisar a perspectiva destes em relação a temática, de acordo com a primeira questão, na qual perguntava aos professores o que entendiam por Educação Ambiental, os resultados obtidos foram:

“É tudo aquilo que devemos preservar, cuidando sempre”

“É uma área do ensino voltada para a conscientização dos indivíduos sobre os problemas ambientais e como ajudar a combater e não poluir mais o meio ambiente”

“São processos pelos quais as pessoas constroem conhecimento voltados para a conservação do meio”

Segundo Tavares (2013) o professor que aplica o ensino de educação ambiental em sala de aula está motivando o aluno a desenvolver responsabilidade ambiental e a ser um cidadão consciente dos deveres de proteção ao meio. De acordo com essa afirmação a sétima e décima primeira questão do questionário estavam relacionadas à ocorrência de projetos envolvendo a EA e quais as dificuldades para realização das atividades. Os docentes responderam que tais não ocorrem, uma vez que a falta de estruturas adequadas e recursos financeiros são os maiores empecilhos encontrados na instituição de ensino em questão.

A Educação Ambiental pode e deve ser representada como um recurso fundamental para a participação de diversas comunidades acadêmicas no processo de conscientização e envoltura (SANTOS; SILVA, 2017). Diante disto, a quinta pergunta estava relacionada à como os assuntos sobre meio ambiente deveriam ser abordadas nas universidades, na qual 2 professoras responderam que precisaria ser trabalhados através de cursos e palestras e 1 professora afirmou que a EA deveria estar presente em todas as disciplinas de maneira interdisciplinar, assim, facilitando o processo ensino-aprendizagem.

## CONSIDERAÇÕES

Um importante meio de conduzir a população a proteger e preservar o meio ambiente é através da EA, sendo evidente e necessário a criação de atividades e projetos educativos que envolvam sociedade e escola em prol do meio ambiente. A análise dos dados obtidos no decorrer do trabalho permitiu concluir que a temática é abordada pelos professores dentro do ambiente escolar, contudo as principais dificuldades estariam diretamente ligadas com a falta de recursos financeiros.

Vislumbramos ter sido de vital importância as atividades desenvolvidas com os estudantes com apresentações de vídeos e palestras abordando importância da Educação Ambiental no dia a dia, os impactos que são gerados pela falta da mesma e ações que podem contribuir para um meio equilibrado.

Verificou-se por meio dos questionários aplicados aos alunos e professores que a maioria possui o interesse em estudar e discutir sobre as questões ambientais, percebe-se também que são sensíveis a fatores como a degradação ambiental, e isto influencia diretamente na qualidade de vida, assim como a importância da preservação e proteção dos recursos naturais.

Portanto através do presente estudo foi possível constatar que a educação ambiental possui ainda, barreiras e, estas se tornam ainda mais evidentes em comunidades rurais, logo estratégias necessitam ser elaboradas de acordo com exigências de cada localidade.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Talita Ferreira Gonzaga; PEREIRA, Marlene de Paula. **A Educação como Ferramenta Pedagógica no Ensino Infantil: Projeto Reciclando com o sr Pet**. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. Porto Alegre, 2015.

ANDRIOLI, Liliane Celestino. Mudando a cultura do descarte do lixo urbano: a experiência do Colégio Estadual Alexandra – Ensino Médio. PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. Superintendência de Educação. Os Desafios da Escola Pública Paranaense na Perspectiva do Professor PDE, 2013. Curitiba: SEED/PR., 2016. V.1. (Cadernos PDE). Disponível em: <<http://www.gestaoescolar.diaadia.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=20>> Acesso em: 09.09.2019.

ARNALDO, Maria Aparecida; SANTANA, Luiz Carlos. Políticas públicas de educação ambiental e processos de mediação em escolas de Ensino Fundamental. **Ciênc. educ. (Bauru)**, Bauru, v. 24, n. 3, p. 559-619, Sept. 2018.

BOTELHO, Mônica de Campos Pereira. **Educação Ambiental para Comunidades Rurais: Reflexões e Práticas**. 99f. 2017. Trabalho para obtenção do grau de mestre em conservação da biodiversidade - Escola Superior de Conservação Ambiental e Sustentabilidade, Nazaré Paulista, 2017.

BRASIL. Lei 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a Educação Ambiental. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 27 abr. 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base nacional comum curricular**: proposta preliminar segunda versão revista. Brasília: MEC, 2016. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/historico>. Acesso em: 08.10.2019.

JACOBI, Pedro Roberto. Educação Ambiental, Cidadania e Sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, n. 118, p. 189-205, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/cp/n118/16834.pdf>. Acesso em: 10.09.2019.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2017.

LIMA, Isis Cristina Rodrigues Souza de; TRAJANO, Ingrid Romaially Lucas; SILVA, Rosineide Deolinda da. **Educação Ambiental e Meio Rural**. In: V CONEDDU, Olinda-PE. 2018. Disponível em: <https://escas.org.br/download/produtos-finais/bahia-15/Monica-de-Campos-Pereira-Botelho.pdf> Acesso em: 19.09.2019.

MEDEIROS, Aurélia Barbosa de *et al.* A Importância da Educação Ambiental na Escola nas Séries Iniciais. **Revista Faculdade Montes Belos**, v. 4, n. 1, 2011.

MOURA, Tanara Rodrigues de. **Educação Ambiental: A base para uma sociedade sustentável**. 2014. 33f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Exatas –Habilitação em Química) -Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2014.

OLIVEIRA, Kleber Andolfato de; CORONA, Hieda Maria Pagliosa. A percepção ambiental como ferramenta de propostas educativas e de políticas ambientais. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 1, n. 1, p. 53-72, 2008.

SANTOS, Flávio Reis; SILVA, Adriana Maria. A importância da educação ambiental para graduandos da Universidade Estadual de Goiás: Campus Morrinhos. **Interações**, v. 18, n. 2, p.71-85, abr./jun. 2017.

SILVA, Andréa Cristina Sousa. O Trabalho com Educação Ambiental em Escolas de Ensino Fundamental. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, Ouro Preto- MG, 2008.

SILVA, Berenice Aparecida da; HULLER, Cristina Raquel; BECKER, Romiane Adriana. **Abordagem da Educação Ambiental na Escola Municipal Carlos Lacerda**. 2011. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2011.

SILVA, Leidyane de Nazaré Amorim; DA COSTA MOTA, Jandra Michele. **Educação Ambiental para Crianças da Educação Infantil em Escolas Município de Santarém-PA**. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2017. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/VII-022.pdf>. Acesso em: 18.09.2019

SILVA, Monica Maria Pereira da; LEITE, Valderi Duarte. Estratégias para Realização de Educação Ambiental em Escolas do Ensino Fundamental. **REMEA-Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 20, p. 372-392, 2008. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/remea/article/view/3855/2299> Acesso em: 25.09.2019.

SILVA, Sandra Lucia da; MELO, Maria José Gonçalves de. **A Educação Ambiental Informal Através do Teatro Infantil**. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, Palmas, 2012.

TAVARES, Ana Cecília Carneiro. **Diagnóstico sobre a prática da educação ambiental no ensino médio na escola de educação básica Presidente Artur da Costa e Silva no município Xanxerê-SC**. 2013. 56f. Monografia (Pós-Graduação em Gestão Ambiental em Municípios) – Universidade Tecnológica Federal do Pará, Medianeira, 2013.



## O BISCOITO ARTESANAL DE VITÓRIA DA CONQUISTA E O SEU POTENCIAL PARA REGISTRO COMO UMA INDICAÇÃO GEOGRÁFICA

*Data de aceite: 01/03/2021*

*Data de submissão: 05/01/2021*

### **Valdir Silva da Conceição**

Universidade Federal da Bahia  
Salvador - Bahia, Brasil  
<https://orcid.org/0000-0002-4199-5521>

### **Dayana Ferraz Silva**

Universidade Federal da Bahia  
Salvador – Bahia, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5725582957765982>

### **Angela Machado Rocha**

Universidade Federal da Bahia  
Salvador – Bahia, Brasil  
<https://orcid.org/0000-0003-0174-3431>

### **Marcelo Santana Silva**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia da Bahia  
Salvador – Bahia, Brasil  
<https://orcid.org/0000-0002-6556-9041>

**RESUMO:** O presente artigo objetiva verificar se as características do biscoito artesanal caseiro não industrializado é denominado de “biscoito avoador”, feito no município de Vitória da Conquista, atende aos requisitos que o potencializam a conseguir o registro de Indicação Geográfica (IG) na modalidade de Indicação de Procedência (IP) ou Denominação de Origem (DO). O biscoito avoador tem importância cultural e econômica para o município, com mais de 600 varejistas e com produção de mais de 4.000

toneladas anuais. A produção é artesanal e feita por pequenos produtores, principalmente nas suas residências, o que se constitui em uma tradição local. O biscoito avoador de Vitória da Conquista possui características únicas, o que o diferencia dos produzidos industrialmente e de outras localidades, sendo essa condição um dos parâmetros que o potencializa a conseguir junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) o registro como uma Indicação Geográfica. **PALAVRAS-CHAVE:** Biscoito Avoador, caseiro, certificação.

### THE ARTISANAL BISCUIT OF VITÓRIA DA CONQUISTA AND ITS POTENTIAL FOR REGISTRATION AS A GEOGRAPHICAL INDICATION

**ABSTRACT:** This article aims to verify if the characteristics of the homemade non-industrialized biscuit called “avoador biscuit”, made in the city of Vitória da Conquista, meet the requirements that enable you to achieve the registration of Geographical Indication (IG) in the Indication modality of Origin (IP) or Denomination of Origin (DO). The avoador biscuit has cultural and economic importance for the municipality, with more than 600 retailers and with an annual production of more than 4,000 tons. The production is handcrafted and made by small producers, mainly in their homes, which is a local tradition. The flying cookie from Vitória da Conquista has unique characteristics, which differentiates it from those produced industrially and in other locations, and this condition constitutes one of the parameters that enables it to obtain from the National Institute of Industrial

Property (INPI) the registration as an IG.

**KEYWORDS:** Avoador, homemade, certification.

## 1 | INTRODUÇÃO

A globalização, o avanço tecnológico e a abertura econômica dos mercados proporcionaram o surgimento de novos nichos para produtos, tendo como consequência a sua aceitação e valorização, principalmente os produtos que possuem qualidade, o consumidor sabe a procedência e são originais (BRAMLEY, C.; BIÉNABE, E.; KIRSTEN, 2004; CONCEIÇÃO *et al.*, 2020)

A modernização contribuiu para a ocorrência de modificações nos sistemas produtivos, principalmente nos países em desenvolvimento, em parte devido às exigências do consumidor e do mercado, além da necessidade de competitividade contra as grandes corporações, tanto no mercado interno quanto no externo, para ter ganhos escalonáveis, fidelizar outros mercados em que não atuavam e que foram fechados (RIBEIRO, 2018; ALMEIDA; RODAS; MARQUES, 2020; LINK; OLIVER, 2020; CONCEIÇÃO *et al.*, 2020).

A Indicação Geográfica (IG) surgiu para garantir a aceitação de produtos no mercado, evitar falsificações ou o uso indevido da denominação do produto e atender as necessidades e exigências do consumidor. A sua consolidação ocorre de forma lenta, principalmente para diferenciar os produtos similares, expondo as suas principais características e que servem como um marketing de valorização. A IG evidencia a origem do produto e enfatiza a sua qualidade, que é um dos pilares buscados pelos consumidores, evitando que sejam expostos produtos não originários, evitando a procedência duvidosa, constituindo-se em uma ferramenta aliada do consumidor, de preservação da cultura, tradição e história de todo o processo produtivo. Favorece a preservação da biodiversidade, o desenvolvimento local ou regional, agregação de valor do produto, além de gerar renda, emprego, a padronização do produto, fabricação de itens de acordo com um caderno de especificações, união dos produtores e de toda a cadeia produtiva devido (VIEIRA; WATANABE; BRUCH, 2012).

Os países e particularmente o Brasil possuem diversos produtos diferenciados e com características diversificadas devido às condições naturais como o relevo, solo, condições climáticas, vegetação entre outros fatores. Devido a intervenção humana, ocorre variações no ambiente, assim adaptando-se as novas condições, que algumas vezes são diferentes do seu local de origem, principalmente os produtos que os colonizadores levaram para as novas terras exploradas, fato ocorrido no Brasil com a colonização portuguesa que sofreu influência dos índios nativos e dos negros africanos escravizados, que com a sua cultura conseguiram alavancar o progresso do país (REIS, 2015; BUAINAIN; BONACELLI; MENDES, 2015).

No Brasil, alguns locais ganharam notoriedade em decorrência das características do produto nessa região. A Bahia com os seus 417 municípios possui uma grande diversidade

de produtos e serviços, cada um com característica diferentes em decorrência da variação das condições naturais e/ou da intervenção humana, o que permite ter produtos similares totalmente diferentes como por exemplo o artesanato, os minerais e os produtos agrícolas. Essa condição potencializa a possibilidade de registro como uma IG, que tem entre as suas vantagens tem de agregar valor ao produto, aumento da renda e a inserção nos mercados. Com capacidade de proteger o produto da pirataria, uso indevido do nome por pessoas que não estejam na área de abrangência do registro, garantia da continuidade da tradição, valorização da cultura e aumento do turismo. Os consumidores cada vez mais tornam-se exigentes e conscientes, o que tende a aumentar a demanda por produtos protegidos, sustentável e rastreável (MEDEIROS: PASSADOR, 2015).

Entre as condições que se fazem necessárias para obter o registro há necessidade da existência de uma entidade representativa dos produtores com o objetivo de agregar as pessoas envolvidas diretamente com o bem registrável (INPI, 2018).

O Acordo sobre Aspectos dos Direitos de Propriedade Intelectual Relacionados ao Comércio – TRIPS (*Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights*), possui entre os signatários o Brasil, que para se adequar ao que foi determinado na Rodada Uruguai, modificou o seu marco regulatório promulgando a Lei nº 9.279 de 14 de maio de 1996, que definiu IG, estabeleceu os parâmetros para o seu registro por meio dos artigos 176 a 182, definiu o Instituto Nacional de Propriedade Industrial, INPI, como o órgão responsável, capacitado e com competência para receber os registros das IG. O INPI definiu os procedimentos para o registro de uma IG através da Resolução INPI nº 75, de 28 de novembro de 2000, cujo Art. 5º determina que para requerer o registro como IG o representante do produtor pode ser uma associação, um instituto ou uma pessoa jurídica legitimada pela coletividade.

Um dos destaques na produção do biscoito avoador é o município de Vitória da Conquista, onde o produto tem importância cultural e também tem um relativo peso no PIB da cidade, cuja movimentação é de cerca de R\$ 70 milhões no segmento do biscoito apenas na fabricação e sem levar em consideração a cadeia produtiva composta de varejistas, serviço, distribuição e matéria-prima. O produto extrapola os limites da cidade, sendo exportado para outras cidades da Bahia e outros municípios de outros estados. Vitória da Conquista possui uma importância como produtor do biscoito avoador, que é percebida pelos consumidores como de boa qualidade, sendo que a matéria-prima, mandioca, polvilho azedo ou goma, é fornecida pelo comércio local (IBAHIA, 2020)

## 2 | METODOLOGIA

A metodologia aplicada foi caracterizada como descritiva e o meio investigativo denomina-se como pesquisa bibliográfica, com a utilização de banco de dados com assuntos relacionados a produção do biscoito avoador no município de Vitória da Conquista

e a Indicação Geográfica.

A pesquisa quanto aos fins tem caráter exploratório. Conforme Gil (2019, p. 42)

A pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses, sendo isso feito ao longo do trabalho". [...] as pesquisas descritivas identificam as características de determinada população ou fenômeno.

Quanto a abordagem optou-se pela qualitativa, levando-se em consideração o que diz Gil (2019) sobre a finalidade do estudo que objetiva proporcionar maior familiaridade com o problema e também colabora para o aperfeiçoamento das ideias, permitindo que se tenha um melhor entendimento dos mais diversos aspectos relacionados ao assunto que se está estudando.

### 3 | HISTÓRIA

O biscoito foi registrado pela primeira vez no período dos faraós, tendo sido encontrado na tumba do faraó TI, que viveu no período do Antigo Egito, pinturas retratando os trabalhadores assando biscoitos em fornos rústicos. Na Roma antiga, os biscoitos eram os alimentos servidos durante as batalhas. A partir de 1792, os biscoitos substituíram os pães de campanha porque duravam mais e não ficavam duros. O exército russo consumia os biscoitos de carne, enquanto que os ingleses consumiam os inventados pelos oficiais das tropas. Os franceses aperfeiçoaram os biscoitos, assando a massa duas vezes, o que contribuiu para a denominação do alimento, que é derivado da palavra *bis-cuit* e que tem como significado assado duas vezes, que tinha como objetivo retirar toda a água e reduzir a umidade com a intenção de aumentar o prazo de validade e obter um alimento quase indestrutível (SEBRAE/ESPM, 2008; MARTON, 2018).

A popularidade do biscoito deu-se na Europa a partir do século XVII, sendo servido junto com o chá e o chocolate. Nesse período a Inglaterra era um dos maiores produtores e exportadores do alimento, principalmente para as suas colônias, onde o consumo foi aumentando com o passar do tempo, de forma que incentivou a importação de maquinários para a sua fabricação, principalmente nos Estados Unidos onde havia uma grande demanda, o que impactou na redução da exportação de biscoitos feitos na Inglaterra. O maquinário exportado requereu peças de reposição, o que também contribuiu para a implantação de indústrias voltadas para esse segmento (SEBRAE/ESPM, 2008).

A Inglaterra ainda é um dos maiores produtores mundiais de biscoito, ficando em primeiro lugar quando comparado com outros países. O termo biscoito foi abandonado pelos ingleses e adotaram a denominação de *cookies*, que é um nome de origem holandesa e significa bolo pequeno. Existem dois tipos de biscoitos, sendo que o denominado de *cookies* são os adocicados e que crescem por meio de ação química; a outra denominação é *saltines* que são os biscoitos salgados e fermentados por meios biológicos. Para a

conservação das suas características originais, o alemão Hermann Bahsen, em 1904, inventou a embalagem hermeticamente fechada. Na atualidade existem mais de 200 tipos de biscoitos (SEBRAE/ESPM, 2008).

#### 4 | INDICAÇÃO GEOGRÁFICA (IG)

As IG não são ferramentas recentes de valorização de produtos, mas existem relatos de sua prática no século 4 a.C, no Mediterrâneo, principalmente com os gregos que já denominavam alguns de seus produtos pelo lugar da sua procedência e que apresentavam características inerentes ao local da sua produção, além de terem qualidade intrínseca como por exemplo os vinhos de Corinthio, de Ícaro e de Rhodes, as amêndoas de Naxos, o mel da Sicília e o mármore de Paros. Os romanos antigos também denominavam alguns dos seus produtos de acordo com a procedência como o mármore de Carrara, as tâmaras do Egito, o presunto de Gália, as ostras de Brindisi e os vinhos de Falerno (MEDEIROS, PASSADOR, 2015).

A França em tempos mais recentes preocupou-se com as imitações e falsificações, além do uso indevido dos produtos fabricados na regiões de Borgonha e Bordeaux. Portugal também teve essa preocupação com os vinhos fabricados no Porto. A Europa utilizou a IG como uma ferramenta para valorizar os seus produtos tradicionais. O Brasil só começou a se preocupar com essa questão a partir dos anos 19990, onde promulgou a Lei de Propriedade Intelectual como um dispositivo legal para a proteção dos seus produtos (MEDEIROS, PASSADOR, 2015).

A IG foi um instrumento que tomou corpo de forma gradual, acompanhando o sentimento gerado pelos consumidores, produtores e comerciantes a respeito das qualidades dos produtos, das suas características e diferenciais que era intrínseco em decorrência dos meios naturais como o solo, a vegetação, o relevo, as condições climáticas ou devido a intervenção humana no processo produtivo. O registro de um produto como uma IG garante que se trata de um bem produzido de forma uniforme e padronizada de acordo com o Caderno de Especificações Técnicas, com a garantia de originalidade e com um determinado atributo diferencial em relação aos similares ou afins (REZENDE *et al.*, 2015).

De acordo com a lei, o órgão que concede o registro de uma IG é o INPI, nas modalidades de IP e DO. Após o registro, não se permite o uso da denominação por produtos similares e fora da área de abrangência da IG. As vantagens pós-registro são o aumento do valor agregado, aumento da renda do produtor, identificação da procedência do produto e da sua qualidade, valorização e reconhecimento do território quando o registro é voltado para setor agrícola, ampliação e facilitação da inserção do produto no mercado, regulação da produção, economia de escala, possibilidade de aumento do turismo na região entre outros (REZENDE *et al.*, 2015).

O artigo 2º da Instrução Normativa nº 25, de 21 de agosto de 2013 define:

Para os fins desta Instrução Normativa, constitui Indicação Geográfica a Indicação de Procedência e a Denominação de Origem.

§ 1º Considera-se a Indicação de Procedência o nome geográfico do país, cidade, região ou localidade de seu território, que tenha se tornado conhecido como centro de extração, produção ou fabricação de determinado produto ou de prestação de determinado serviço.

§ 2º Considera-se a Denominação de Origem o nome geográfico do país, cidade, região ou localidade de seu território, que designa produto ou serviço cujas qualidades ou características se devam exclusiva ou essencialmente ao meio geográfico, incluindo fatores naturais e humanos (INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL, 2013, p. 2).

Os conceitos apresentam algumas similaridades e algumas diferenças relacionadas ao processo produtivo quando mostra a influência de fatores naturais relativos aos meios geográficos, fatores humanos relativos ao saber-fazer ou característico da comunidade com o desenvolvimento de técnicas próprias que algumas vezes estão relacionadas a tradição e a cultura do lugar, características inerentes ao produto ou da sua cadeia de produção, além da qualidade, o que são elementos para classificar o registro como uma DO, que vai requerer um tempo maior de comprovação, mais esforço da equipe de trabalho para solicitar o registro e comprovar as características (MAIORKI, DALLABRIDA, 2015).

No caso do biscoito avoador de Vitória da Conquista, a pesquisa não revelou nenhuma entidade de classe que agregasse os produtores, o que se faz necessário e deve ser criada para atingir esse objetivo. Essa organização social ficará responsável pela elaboração da norma, estatuto e caderno de especificação, além de produzir uma ata com dados relativos à eleição dos seus membros dirigentes. O seu papel também é traçar estratégias com a seguinte sistemática:

- avaliar os biscoitos artesanais fabricados pelos associados;
- estudar meios de melhorias do produto, da matéria prima e da embalagem;
- fazer estudos da implantação de uma central de compras de materiais empregados na cadeia de produção de biscoito;
- promover cursos de capacitação para os associados;
- identificar os interesses dos associados e envolvê-los nas questões pertinentes à continuidade da associação, assim como aumentar o número de associados e fortalecer o associativismo;
- contratar nutricionistas para promover pesquisas participativas de melhoria da qualidade nutricional dos produtos;
- regularizar as marcas de biscoitos junto ao Instituto Nacional de Propriedade

Industrial (INPI);

- promover cursos de gestão, negociação e de empreendedorismo para os associados;
- associar locais de turismo, praça esportiva, eventos locais, com manifestações populares e com outros produtos por meio de pesquisa entre associados e visitantes da região;
- fazer visitas técnicas visando à melhoria do produto, a qualidade, a higiene e adequação dos procedimentos;
- melhorar e adequar tecnologias da produção;
- fazer estudo da concorrência e do mercado;
- agregar valor ao produto (novas embalagens, rótulos elaborados por designer etc.);
- promover o produto em feiras nacionais e internacionais, eventos e em novos pontos de vendas e associar os produtos a esses eventos;
- desenvolver ações de comunicação adequada e criativa, além de divulgar os produtos nas redes sociais e na imprensa, além de outros canais de comunicação;
- venda conjunta para o mercado consumidor.

No Brasil, a primeira IG foi concedida em 2002, para os vinhos espumantes, tintos e brancos produzidos no Vale do Vinhedo, no Rio Grande do Sul, na modalidade IP. Na Bahia, a primeira IG exclusive foi da Cachaça da Microrregião de Abaíra, em 2014. Anteriormente a essa data, precisamente em 2009, a Bahia teve um registro conjunto com Pernambuco, referente às uvas de mesa e manga produzida no Vale do Submédio do São Francisco, com abrangência dos municípios baianos de Casa Nova, Curaçá, Juazeiro e Sobradinho. Em Pernambuco, os municípios abrangidos foram Lagoa Grande, Petrolina, Orocó e Santa Maria da Boa Vista (LIMA, 2014).

## 5 | MUNICÍPIO DE VITÓRIA DA CONQUISTA

O município de Vitória da Conquista possui uma grande importância econômica para o estado da Bahia, constituindo a Terceira cidade em termos de extensão. A sua fundação ocorreu em 1783 com o sertanista português João Gonçalves da Costa, que chegou ao local em busca de ouro, onde era denominado de Arraial da Conquista. A Lei Imperial nº 124, de 19 de maio de 1840, elevou o distrito à condição de Vila e Freguesia com o nome de Vila Imperial da Vitória, que era um distrito da Vila de Caetité. Em 9 de novembro de 1891 foi elevada à categoria de cidade com o nome de Conquista e também nessa data foi

instalada a Câmara de Vereadores. A Lei estadual nº 141, de dezembro de 1943 modifica o nome do município para Vitória da Conquista (IBGE, 2020).

Os habitantes iniciais do município eram os povos indígenas Mongoyó ou Kamakan, que pertencem ao subgrupo Camacã, Ymboré ou Aimoré, que é também conhecido como Botocudo. Outra nação indígena originária eram os Pataxós, que pertencem ao tronco Macro-Jê, com aldeamento na faixa do Sertão da Ressaca, que está compreendida entre as margens do Rio Pardo até o Rio de Contas. Na atualidade, o município possui 12 distritos, 24 bairros e 284 povoados. A sua extensão é de 3.704,02 km<sup>2</sup>, integrando a Mesorregião Centro Sul Baiano e a Microrregião Vitória da Conquista (IBGE, 2020)

Os principais produtos agrícolas são mandioca, banana, café arábico, cana-de-açúcar, maracujá e feijão (IBGE, 2017).

## **6 | BISCOITO ARTESANAL DE VITÓRIA DA CONQUISTA**

A farinha de mandioca é um dos insumos utilizados na fabricação do biscoito avoador. Essa matéria-prima é abundante no Nordeste brasileiro, que também é um grande plantador e consumidor de mandioca e seus derivados. Vitória da Conquista é um grande plantador de mandioca e para a fabricação do biscoito os fornecedores são locais. As comunidades de Batuque, Campinhos e Simão são os locais que fornecem farinha e derivados da mandioca para os Produtores do biscoito avoador (NOVAES: QUEIROZ, 2017; PAIVA *et al.*, 2012).

Existe uma tradição centenária da população rural de Vitória da Conquista na fabricação do biscoito caseiro, que se constitui em um dos elementos do tripé da alimentação do povo sertanejo, que tem como base a mandioca (biscoito, farinha etc.), carne (principalmente a seca) e frutas nativas. Inicialmente, a população rural fabricava artesanalmente o biscoito para o próprio consumo, pois, não tinham recursos financeiros e nem acesso fácil para fazer as suas refeições matinais, noturnas, além do lance escolar, com a utilização do pão. A produção da farinha de mandioca e da goma são etapas que antecedem a fabricação do biscoito avoador, que eram alimentos produzidos pelas famílias para consumo próprio, principalmente das camadas mais pobre (MONIQUE, OLIVEIRA, 2013; REZENDE *et al.*, 2015; NOVAES, QUEIROZ, 2017).

A população rural era detentora do saber-fazer dessa refeição e por meio da oralidade passava essa arte para a geração seguinte, principalmente para os componentes do seio familiar. Esse grupo também era detentor de toda a cadeia produtiva, desde a plantação da mandioca, passando pelo cultivo com vistas a produzir a fécula ou goma, indo para a fase de produção do biscoito até chegar na extremidade da cadeia, onde comercializavam os produtos nas residências vizinhas e nas feiras livres (MONIQUE, OLIVEIRA, 2013; REZENDE *et al.*, 2015; NOVAES, QUEIROZ, 2017).

Os produtos fabricados pela comunidade rural também eram direcionados para



serem consumidos nos principais eventos sociais da comunidade, como as festas juninas, casamento na roça e outras manifestações culturais, sendo ainda continuada como uma tradição até os dias atuais. Atualmente, existem 50 variedades de biscoitos com sabores diferentes (MONIQUE, OLIVEIRA, 2013; REZENDE *et al.*, 2015; NOVAES, QUEIROZ, 2017).

Existem vários meios de transportar os biscoitos avoadores para a sua comercialização, variando de carros pequenos com ou sem carroceria, até maiores como as vans. O deslocamento para os pontos de comercialização do biscoito avoador, normalmente é feito pelo fabricante, que conduz os seus produtos até as feiras livres e centros de distribuição, ou pode ser feito pelo varejista que se desloca para os locais de fabricação para adquirir os produtos.

O biscoito avoador não é um produto restrito ao município de Vitória da Conquista, pois já ultrapassou os limites geográficos da região, estando presente nas regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste, nas cidades de Recife, Teófilo Otoni, Brasília e São Paulo. A notoriedade do biscoito avoador contribuiu para o aumento da demanda, ocasionada pelo consumo crescente nas praças de Salvador, norte de Minas Gerais e outros estados, o que de certa forma influenciou a sua fabricação industrial, pois a produção artesanal já não dava conta para suprir a demanda, o que favoreceu a variação das formas de apresentação do biscoito e no seu sabor, por essa razão a Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) foi motivada a inaugurar uma fábrica-escola de doces e biscoitos no seu Campus de Vitória da Conquista, tendo entre os seus objetivos difundir o conhecimento da fabricação dos produtos e também com o propósito de alavancar a geração de emprego na região principalmente (REZENDE *et al.*, 2015).

No presente estudo foi verificado que alguns requisitos preponderantes para fazer o registro como IG foram atendidos como pode ser visto no Quadro 1, onde foi feita uma avaliação qualitativa para nortear o trabalho de estruturação visando o registro, também servindo como um parâmetro norteador para verificar as características inerentes do produto e serem validadores para a base de informações do pedido de registro.

Delimitação da área de IG							Diferenciação do produto
Fatores humanos			Fatores naturais				
Saber-fazer	Tradição	Tipicidade	Clima	Solo	Vegetação	Relevo	Notoriedade
Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Quadro 1: Requisitos mínimos para o início do registro de Indicação Geográfica

Fonte: REZENDE *et al.*, 2015, p. 29.

Os requisitos mostrados no Quadro 1 servem para validar a base de informações, de

forma que se possa potencializar a obtenção da indicação geográfica.

O município de Vitória da Conquista possui 101 localidades entre distritos, bairros, assentamentos e ocupações, porém apenas algumas localidades possuem fabricação de biscoito avoador. Os bairros centrais e periféricos da cidade onde ocorre a fabricação de biscoito e o quantitativo de produtores são: Guarani (06), Urbis V (04), Brasil (03), Panorama (03), Pradoso (03), Recreio (03), Simão (03), São Vicente (03), Vila Serrana II e II (03), Alto Maron (02), Campinhos (02), Centro (02), Ibirapuera (02), Nossa Senhora Aparecida (02), Patagônia (02), Cabeceira (01), Candeias (01), Estiva (01), Flamengo (01), Iguá (01), Jardim Guanabara (01), Kadija (01), Sumaré (01), Vila Mariana (01), Boa Vista, Jurema e Iracema (NOVAES e QUEIROZ, 2017).

A produção dos biscoitos artesanais é uma prática secular e familiar, com o conhecimento e as técnicas sendo transmitida no seio familiar de geração em geração, sendo que essa condição é responsável pela sua perpetuação e manutenção da tradição. Os biscoitos artesanais caseiros, normalmente, são produzidos pelos membros da família como os pais, filhos, irmãos, netos, tios, primos, avós, genros, sogros entre outros agregados ao seio familiar (NOVAES; QUEIROZ, 2017).

Algumas vezes, a produção é feita na cozinha das residências das famílias, onde em alguns casos são as mesmas instalações que os seus antepassados utilizavam, pois algumas residências são típicas de séculos passados. Assim como os utensílios para a sua produção e a forma e os modos de fazer o biscoito. Antigamente, as pessoas residentes na zona rural não tinham fácil acesso ao pão, devido ao preço praticado e pela falta de recursos financeiros, o que implicava naturalmente na substituição desse alimento por biscoito na hora do café e da merenda, principalmente devido a abundância da matéria-prima para a sua fabricação. Para algumas famílias a comercialização do biscoito avoador se constitui na única fonte de renda.

Os principais componentes da fabricação do biscoito avoador são a fécula da mandioca, que também é conhecida como polvilho azedo e o amido de milho. Esses produtos normalmente são encontrados em casas de farinha, feiras livres, mercados e nas indústrias locais (NOVAES; QUEIROZ, 2017).

Os biscoitos avoadores e os chimangos são feitos de goma fermentada, esse tipo de goma, é fundamental para levedar a massa e conferir o aspecto e consistência necessários, esses são classificados como salgados. O biscoito doce tem como base a goma doce, trigo e amido de milho. Os biscoitos finos também pertencem à categoria dos doces, no entanto se diferem na composição, que geralmente são a base de trigo ou amido, e na aparência, feitos com mais rigor no acabamento (NOVAES; QUEIROZ, 2017, p. 2).

O consumo do biscoito avoador contribuiu para o aumento da demanda, o que proporcionou a inclusão do modo de produção industrial, que vai suprir as necessidades do consumidor final, porém a continuidade da produção caseira conserva as suas raízes, a

regionalidade, a cultura e a autenticidade do modo de fabricar. A disponibilização do biscoito em quantidade suficiente para suprir a demanda vai ter como uma das suas vertentes a atração de turista e visitantes para consumir o biscoito avoador

Na zona rural, a produção do biscoito avoador ainda segue as etapas do processo básico e tradicional, constando da plantação e colheita da mandioca, transporte com a utilização do esforço humano ou pela atração animal humano até as casas de farinha e, posteriormente, é feita:

Lavagem da mandioca em água corrente, em seguida são energicamente escovadas, para serem raladas de forma manual ou mecânica. A massa obtida é submersa em água. Em seguida é lavada em peneira fina de taquara inúmeras vezes até que a água não saia mais leitosa. O resultado da coagem é levado para cochos de madeira para decantação. Quando o líquido da parte superior tiver translúcido, ele passa pelo processo de drenagem. Em seguida, o amido resultante é raspado e lavado novamente. Depois, o material é agitado e coado em peneiras de textura mais grossa. Por fim, o amido decanta novamente. Trata-se de um processo conhecido como recoa, que tem a função de eliminar todas as fibras e impurezas da fécula. Ao fim do processo, no fundo do recipiente, forma-se um bloco de amido bem fino, que é quebrado e esfarelado. Depois, ele é levado para secagem em pano de algodão. Após o processo, a fécula é socada para passar por peneiras. O acondicionamento do produto deve ser feito em sacos de algodão (OLIVEIRA, 2017).

Os fatores naturais como o solo, o relevo e o clima, assim como a variedade da mandioca cultivada, influenciam diretamente nas propriedades físicas, químicas e biológicas, principalmente em relação a textura da raiz, a produtividade e ao sabor, sendo que esses dois últimos itens vão contribuir para potencializar a diferenciação do produto e que tenderá a agradar os diferentes paladares dos consumidores

Existem várias formas de comprovar a notoriedade de um produto e no caso do biscoito avoador de Vitória da Conquista, a fama decorreu da verificação de publicidade gerada na mídia televisiva por meio de programas tanto a nível local como a nível nacional, destacando-se os programas de repercussão estadual como Bahia Rural e Mosaico, que são transmitidos pela TV Bahia, uma das retransmissoras e uma das afiliadas da Rede Globo de Televisão. Nacionalmente existem reportagens sobre a fama do biscoito avoador no site das Organizações Globo. Na imprensa escrita, o Jornal A Tarde que tem circulação nos estados da Bahia e Sergipe, fez algumas matérias sobre o biscoito avoador de Vitória da Conquista

A cadeia produtiva do biscoito é formada por agricultores, que fornecem a material-prima, avicultores, que fornecem os ovos, fruticultores, que fornecem as frutas, os laticínios, que fornecem o leite e seus derivados, a indústria de equipamentos, para fornecerem os fogões e fornos, os feirantes, para venderem os seus produtos, às entidades de apoio e fomento como o SEBRAE e a academia, a indústria de embalagem, instituição de

fiscalização como a ANVISA, o INMETRO entre outros (SEBRAE/ESPM, 2008).

Os principais agentes da cadeia produtiva dos biscoitos caseiro/não industrial são os fornecedores da matéria-prima, que podem representar até 80% da sua composição.

## 7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mercado de biscoito é desenvolvido e possui empresas de diversos portes, o que torna esse mercado bastante competitivo.

As indicações geográficas representam uma proteção e valorização do produto e/ou serviço, possibilitando o fortalecimento e diversificação de atividades não relacionadas com o produto, como o turismo, além de outras atividades voltadas para o seu desenvolvimento, como por exemplo, os setores de hospedagem, transporte, alimentação entre outros, o que se torna um fator de desenvolvimento da região. De um modo geral, essa ferramenta para um país diversificado como o Brasil, em que vários territórios têm identidade própria, é de fundamental importância para inserir o país em uma posição competitiva no mercado internacional, que hoje exige produtos de qualidade e diferenciados, que agradem ao gosto seletivo dos potenciais consumidores e evite falsificações. Isso agrega valor aos seus produtos, movimenta a economia local e proporciona o aumento da renda e, conseqüentemente, do emprego, além de preservar o saber-fazer e permitir que pequenos produtores tenham capacidade de competir contra as grandes empresas.

No processo de implantação da IG haverá necessidade da participação de entidades públicas e privadas como a academia, os entes públicos, os órgãos de fomento e o SEBRAE.

A produção do biscoito avoador é uma atividade predominantemente familiar, que envolve todo o seio da família na sua fabricação e serve de subsistência para famílias que têm na produção uma das principais fontes de renda.

No material pesquisado não foi encontrado um órgão representativo para esse setor, a exemplo de uma associação de classe que possa representar burocraticamente os fabricantes junto ao INPI para pleitear a IG. Portanto, os fabricantes de biscoitos devem se organizar uma associação ou cooperativa e buscar o maior número possível de pessoas para se associar, a fim de que esta seja bem representativa da categoria e que, entre seus objetivos esteja o de criar normas e procedimentos da cadeia produtiva, além de estruturar uma rede de distribuição e de apoio técnico e científico, promover discussões nos grupos de forma integrada e visando ao bem comum dos associados, de forma a melhorar a qualidade de vida, fazer a inclusão social e envolver os associados e a comunidade na tomada de decisões, fortalecendo as atividades, gerando novas oportunidades para que seja a perpetuado o saber fazer. Deve também fazer parcerias com outras associações voltadas para o turismo e para a hospedagem, trabalhando em conjunto com a comunidade.

A fabricação de biscoito artesanal desfruta de um saber-fazer restrito àquela localidade, sendo um parâmetro favorável à potencial certificação.

O trabalho foi limitado às fontes secundárias e sugere-se que as mesmas sejam ampliadas, inclusive com uma visita local para ter um melhor contato com os fabricantes e obter mais requisitos necessários para a certificação.

O biscoito artesanal de Vitória da Conquista tem potencial para deter uma indicação geográfica, sendo que os benefícios decorrentes dessa IG serão de fundamental importância para o desenvolvimento da região e da população, contribuindo para o aumento do turismo na região.

## REFERÊNCIAS

A TARDE. Salvador 27 out. 2017. Caderno 5, Raio X da educação.

ALMEIDA, N. A. S.; RODAS, S. E. R.; MARQUES, W. M. R. investimento em pesquisa e inovação tecnológica: um estudo de caso para o Brasil. **Estudo & Debate**, v. 27, n. 1, p. 7-28, Lajeado, 2020.

BRAMLEY, C.; BIÉNABE, E.; KIRSTEN, J. The economics of geographical indications: towards a conceptual framework for geographical indication research in developing countries. In: WIPO – WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. The Economics of Intellectual Property. Genebra: Wipo, cap. 4, p. 109-150, jan. 2009.

BRASIL, Lei 9.279, de 14 de maio de 1996 (Código de Propriedade Industrial). Regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial. 1996. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9279.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9279.htm)>. Acesso em: 28 dez. 2020.

BUAINAIN, A. M.; BONACELLI, M. B. M.; MENDES, C. I. C. (Org.). **Propriedade intelectual e inovações na agricultura**. Brasília; Rio de Janeiro: CNPq, FAPERJ, INCT/PPED, IdeiaD ; 2015.

CONCEIÇÃO, V. S.; ROCHA, A. M.; SILVA, M. S.; CONCEIÇÃO, M. C. The impact of technology in the world of work. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**. v. 7, p. 337-344. DOI: 10.22161/ijaers.76.42.

Famosos e variados, biscoitos de Vitória da Conquista têm importância cultural e econômica. Ibahia. Redação. 05 mar. 2020. Disponível em: <<https://glo.bo/3hpf156>>. Acesso em: 30 dez. 2020.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Cidades. Disponível em: <<https://bit.ly/34Tfq1r>>. Acesso em: 03 dez. 2020.

Instituto Nacional de Propriedade Industrial - INPI. Guia Básico – Indicação Geográfica. Disponível em: <<https://bit.ly/2L5h1tH>>. Acesso em: 03 dez. 2020.

LIMA, U. D. S. Vinicultura na RIDE Juazeiro – Petrolina: produção e desenvolvimento territorial. 2014. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geografia). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/38LAic3>>. Acesso em: 03 jan. 2021.

LINK, A. N.; OLIVER, Z. T. **Technology Transfer and US Public Sector Innovation**. Massachusetts: Edward Elgar Publishing limited, 2020.

MAIORKI, G. J.; DALLABRIDA, V. R. A indicação geográfica de produtos: um estudo sobre sua contribuição econômica no desenvolvimento territorial. **Interações**, Campo Grande, 2015, v. 16, n. 1, p. 13-25. Disponível em: <<https://bit.ly/3rB26bG>>. Acesso em 03 dez. 2020.

MARTON, F. **Biscoito**: instrumento de Guerra. <<https://bit.ly/2MadA5z>>. Acesso em: 28 dez. 2020.

MEDEIROS, M. de L.; PASSADOR, J. L. Indicações geográficas e turismo: possibilidades no contexto brasileiro. **Perspectivas contemporâneas**. 2015, v. 10, n. 3, p. 56-79. Disponível em: <<https://bit.ly/3aRgqaa>>. Acesso em 03 dez. 2020.

MONIQUE É.; OLIVEIRA, L. **A tradição familiar que se tornou negócio lucrativo**. 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/3rwoOSp>>. Acesso em: 10 out. 2020.

MONOGRAFIAS MUNICIPAIS, NORDESTE/BAHIA VITÓRIA DA CONQUISTA. IBGE. Disponível em: <<https://bit.ly/2WP6960>>. Acesso em: 12 dez. 2020.

NOVAES, M. de J.; QUEIROZ, G. A. **O circuito inferior da economia urbana**: a produção de biscoitos em Vitória da Conquista – Bahia. In: Colóquio Internacional do Museu Pedagógico, 5. 2017, p. 1820-1824. Disponível em: <<https://bit.ly/38DkojQ>>. Acesso em: 03 dez. 2020.

OLIVEIRA, A. **Produção caseira de fécula de mandioca**. Disponível em: <<https://bit.ly/3pueOXH>>. Acesso em: 03 dez. 2020.

PAIVA, T. V. S.; ARAÚJO, C. F.; LIMA, A. J. C.; LEITE, N. S.; CUNHA, W. J. T. **A matemática na culinária regional**. Encontro Nacional PIBID – Matemática, I, 2012. Disponível em: <<https://bit.ly/3ho0NrQ>>. Acesso em: 10 dez. 2020.

REIS, L. L. M. **Indicação Geográfica no Brasil**: determinantes, limites e possibilidades. 2015. 270 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2015.

REZENDE, A. A.; MIYAJI, M.; SIMÕES, G. C.; DALTRO, T. S.; PEREIRA, I. T. M. S. Considerações sobre as potenciais indicações geográficas do Sudoeste da Bahia. **RPA**, ANO XXIV, n. 4, out./nov./dez 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/3aPtMnl>>. Acesso em: 10 dez. 2020.

RIBEIRO, N. M. (Org.). **Prospecção tecnológica** [Recurso eletrônico on-line]. Salvador, BA: IFBA, 2018.

SEBRAE/ESPM. **Biscoitos caseiros / não industrializados**; estudo de mercados. Disponível em: <<https://bit.ly/3rL7RUm>>. Acesso em 06 dez. 2020.

VIEIRA, A. C. P.; WATANABE, M.; BRUCH, K. L. Perspectivas de desenvolvimento da vitivinicultura em face do reconhecimento da Indicação de Procedência Vales da Uva Goethe. **Revista GEINTEC**, 2012, v. 2, n. 4, p. 327-343. Disponível em: <<https://bit.ly/2WRb9Hd>>. Acesso em: 03 dez. 2020.

## EXTENSÃO INTERDISCIPLINAR NAS PRÁTICAS DE CUIDADOS – CENOPOESIA E AQUARELA NA SAÚDE MENTAL

Data de aceite: 01/03/2021

### Midiã Kaddja Nunes de Souza

Universidade Federal Rural do Semiárido  
UFERSA  
Mossoró  
<http://lattes.cnpq.br/4403122663984310>

### Maria Aridenise Macena Fontenelle

Universidade Federal Rural do Semiárido  
UFERSA  
Mossoró  
<http://lattes.cnpq.br/1135208524808276>

**RESUMO:** A extensão é onde a comunidade acadêmica encontra na sociedade a oportunidade de elaboração da práxis de seus conhecimentos, tendo o objetivo de realizar a inserção social nas camadas mais pobres e excluídas da população, levando consigo conhecimentos científicos e tecnológicos que eram reservados somente para o mundo acadêmico. O artigo apresenta uma pesquisa qualitativa, ocorrida entre os anos de 2017 a 2019, relatadas em diário de bordo buscando compreender percursos de vida e atualização dos modos de conviver que pôde ser observado nas ações dos clientes. Esse estudo visa compartilhar um relato de experiência no Projeto de Extensão oferecido pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido, intitulado Programa Oficinando em Rede e Saúde Mental, e sua influência na sociedade compreendendo mudanças cognitivas e afetivas através de tecnologias leves como a pintura em aquarela e a cenopoesia, promovendo uma melhor qualidade

de vida aos participantes artistas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Extensão, Cenopoesia, Aquarela.

### INTERDISCIPLINARY EXTENSION IN CARE PRACTICES - CENOPOESIA AND WATERCOLOR IN MENTAL HEALTH

**ABSTRACT:** The extension is where the academic community finds in society the opportunity to elaborate the praxis of their knowledge, aiming to achieve social insertion in the poorest and most excluded sections of the population, taking with them scientific and technological knowledge that was reserved only for the world. academic. The article presents a qualitative research, which took place between the years 2017 to 2019, reported in a logbook seeking to understand life paths and updating the ways of living that could be observed in the actions of customers. This study aims to share an experience report in the Extension Project offered by the Federal Rural University of the Semi-Arid, entitled Networking and Mental Health Program, and its influence in society including cognitive and affective changes through light technologies such as watercolor painting and cenopoesia, promoting a better quality of life for customers.

**KEYWORDS:** Extension, Cenopoesia, Watercolor.

## 1 | INTRODUÇÃO

A extensão universitária é considerada um dos pilares do ensino superior no Brasil, que fomenta não somente a formação profissional e humanística, mas também a transformação

social. (DESLANDES E ARANTES, 2017).

Aproximar discentes universitários da sociedade torna-se sua importância gradativa na contemporaneidade, objetivando a educação futura não apenas no âmbito universitário, mas em sua atuação na modificação da sociedade e do tempo.

Como forma de favorecer a relação aluno-sociedade, faz-se necessário uma política de extensão universitária, que propicie a interação e diálogo entre eles, no intuito de identificar novas ideias, criações, inovações, promovendo ações de extensão, possibilitando novas propostas sociais, produtivas, técnicas ou tecnológicas que alteram e promovem impacto na vida das pessoas.

As práticas de cuidado na saúde mental constroem-se a partir da experiência do Programa Oficinando em Rede e Saúde Mental na cidade de Mossoró-RN. Contando com depoimentos e relatos vivenciados por clientes atendidos nos Centros de Atenção Psicossocial e estudantes participantes do projeto de extensão.

Esse estudo visa compartilhar um relato de experiência no Projeto de Extensão oferecido pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido, intitulado Programa Oficinando em Rede e Saúde Mental, e sua influência na sociedade compreendendo mudanças cognitivas e afetivas através de tecnologias leves como a pintura em aquarela e a cenopoesia, promovendo uma melhor qualidade de vida aos participantes artistas.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Programa Oficinando em Rede

O programa de extensão, pesquisa e ensino intitulado “Oficinando em rede e saúde mental” é um programa que teve início em meados de 2004, na cidade de Porto Alegre – RS. Construído por Cleci Maraschin e alguns colaboradores, inicialmente com atividades no Centro Integrado de Atenção Psicossocial (Ciaps) do hospital psiquiátrico de São Pedro. O programa envolve a integração de tecnologias leves no trabalho realizado em parceria com as comunidades e os serviços de saúde mental. (RICKES; MARASCHIN, 2011)

Em janeiro de 2012 inspirada pela experiência desenvolvida no CAPS, a professora Karla Demoly, inicia na cidade de Mossoró-RN no Centro de Atenção Psicossocial Infância e da Adolescência (CAPSi), o programa Oficinando em rede e saúde mental em Mossoró, dando início a projetos como “*Tecendo Redes de Cuidado e Aprendizagem*”; “*Oficinando com artes, fotografia, vídeo na saúde mental*”; “*Oficinando com jogos digitais na saúde Mental*” a partir do ano de 2015. Os projetos desenvolvidos têm por objetivo em comum a experimentação de diferentes linguagens como: Pintura, teatro, cirandas, brincadeiras e tecnologias da informação e da comunicação no campo da saúde mental, em ambientes que atendem a comunidade como um todo, ex: crianças, jovens, adultos e idosos que vivem em diferentes circunstâncias de sofrimento psíquico. (DEMOLY, 2017).



No ano de 2017 o programa Oficinando em rede amplia seus horizontes para dois novos CAPS: Centro de Atenção Psicossocial Enf Mariana Neumam Vidal da Costa e CAPS II: Centro de Atenção Psicossocial Antônio Herculano Soares de Oliveira. Permanecendo com oficinas no CAPSi: Centro de Atenção Psicossocial da Infância e da Adolescência.

O programa oficinando em rede reúne-se semanalmente em Mossoró nos CAPSs e para continuidade do projeto com pesquisas e extensão, o referido programa conta com bolsistas e docentes de áreas distintas como: Bacharelado interdisciplinar em ciência e tecnologia, Engenharias, Direito, Computação, Medicina, Licenciatura em educação do campo, e Administração de uma Universidade Federal de Mossoró-RN.

As linguagens aqui citadas utilizadas nas oficinas com os clientes é um fator determinante e de extrema importância na diferença entre esse projeto e as diferentes comunidades, artistas e clientes que fazem parte do programa. Considera-se a princípio o engajamento dos seus participantes no fazer das artes e atos cenopoiéticos.

## **2.2 Extensão Universitária e a Engenharia**

O objetivo da educação do futuro não está em adequar somente os estudantes para o mercado de trabalho, mas também permitir que eles atuem na modificação da sociedade e do seu tempo. Oferecer novas modalidades de ensino e aprendizagem é responsabilidade das universidades que planejam continuar relevantes nesse futuro. (VILELA et al. 2016).

Aproximar a universidade da sociedade é uma missão cada vez mais importante na contemporaneidade. Como forma de favorecer essa aproximação, faz-se necessário uma política de extensão universitária capaz de promover ações de extensão que dialoguem e interajam com ela, identificando ideias criativas e inovadores ou mesmo possibilitando arranjos e rearranjos sociais, produtivos, técnicos ou tecnológicos que alterem ou promovam impacto na vida das pessoas e, conseqüentemente, uma melhor qualidade de vida.

No âmbito universitário uma das grandes preocupações no egresso dos alunos a instituição está diretamente refletida nos esforços das mesmas em agregar a grade curricular dos cursos de graduação alguma atividade de extensão a qual possibilite o aluno a desenvolver competências e proporcionar aprendizagem profissional. Através de aulas teóricas é possível obter uma visão diferente para atuação no processo produtivo das organizações, além de compreender e interagir com a sociedade.

A extensão é onde a comunidade acadêmica encontra na sociedade a oportunidade de elaboração da práxis de seus conhecimentos, tendo o objetivo de realizar a inserção social nas camadas mais pobres e excluídas da população, levando consigo conhecimentos científicos e tecnológicos que eram reservados somente para o mundo acadêmico.

Oliveira et al (2013) explica que os cursos de Engenharia, reconhecendo a importância social e técnico-científica de sua atividade-fim, estabelecem alguns objetivos principais no setor da extensão como por exemplo, estimular estudantes e professores para o desenvolvimento de atividades de extensão; Identificar segmentos econômicos, sociais

e do setor produtivo onde possam ser desenvolvidas ações de engenharia pelos alunos de graduação; Promover a interação de discentes e docentes com comunidades carentes para viabilização de projetos necessários ao seu desenvolvimento; e Estimular a elaboração de projetos solidários interdisciplinares nos cursos. Oliveira et al (2013) também considera que as atividades de extensão são um meio de envolver estudantes de diferentes cursos e de diferentes níveis e professores em situações da vida da comunidade, com riqueza de detalhes, sentidos e percepções que não são abordados em livros didáticos.

Dessa forma, pode-se perceber uma relevância na aprendizagem profissional pela participação nas atividades disponíveis nas extensões universitárias existentes. Assim, tanto a universidade quanto a sociedade tem um saldo positivo na realização de ações fundamentadas no conhecimento científico e no desenvolvimento sustentável. (OLIVEIRA et al, 2013)

### 2.3 Cenopoesia na Saúde Mental

O programa oficinas em rede e saúde mental organiza-se entre os anos 2015-2017 na forma de oficinas que são pensadas em encontros semanais de oficinairos, pesquisadores e professores supervisores de projetos individuais e/ou coletivo de extensão e pesquisa. (DEMOLY; FONTENELLE; CHAGAS, 2017).

No decorrer desses anos, oficinas com computadores, tablets, câmeras fotográficas, tintas, linhas, papéis, tornavam-se presentes nos encontros com os CAPS e tanto a comunidade como os oficinairos estavam familiarizados com as oficinas em questão. O grande desafio foi o de aprender o método do fazer com o teatro, sob orientação de Ray Lima, Junior Santos e inspirados por leitura do médico psiquiatra e ator, Vitor Pordeus (DEMOLY; FONTENELLE; CHAGAS, 2017, deu-se início as oficinas de cenopoesia na saúde mental.

A Cenopoesia na saúde mental teve início no programa Oficinas em rede, podendo-se observar a potência e importância deste novo conceito no modo de lidar com o sofrimento psíquico através das múltiplas formas de linguagem, no expressar e no fazer artístico existente em cada cliente. (DEMOLY; FONTENELLE; CHAGAS, 2017)

Inicialmente construído pelo educador popular em saúde, reconhecido poeta e ator nordestino da região de Icapuí-CE, Ray Lima (LIMA, 2012) juntamente com outros educadores desenvolveram práticas de cuidados repassadas e ensinadas aos oficinairos que integram poesia, cantigas, afeto, teatro, brincadeiras, o expressar do ser. A cenopoesia passou a ser parte do oficinas em rede de Mossoró visando possibilitar a inserção de linguagens e tecnologias leves no trabalho da saúde mental. A partir de sua integração as demais oficinas percebe-se a interação dos participantes artistas jovens e adultos que procuram ampliar e interagir criativamente no fazer.

A cenopoesia trouxe ainda o desenvolvimento de práticas de cuidados como o *“corredor de cuidados”* e a *“feira somasempre”*.

O corredor de cuidados consiste em um corredor formado por filas indianas, onde clientes, colaboradores, pesquisadores interagem entre si independente de suas posições sociais, e/ou psíquicas, trazendo em uma de suas extremidades inicialmente recebendo uma massagem, e passando de olhos fechados pelo corredor, cuidados onde todos dizem aquilo que deseja de bom, ou demonstram de alguma forma todo o carinho e gratidão. Ainda no corredor de cuidados de olhos fechados em sua extremidade final, é acolhido e recebido com abraço e assumindo o lugar do acolhimento. As experiências descritas por todos que passam é de renovação das energias, e o acolhimento e sentimentos bons transpassados a cada passo dado no corredor de cuidados.

O Corredor de Cuidados é uma vivência trabalhada na Educação Popular em Saúde há muitos anos. Os responsáveis Vera Dantas e equipe solicitam para todos e todas formarem duas filas, um/a em frente ao/à outro/a. Um chocalho cheio de sons e energias animam os participantes e membros da equipe com suas mãos, perfumes de plantas medicinais preparam espiritualmente cada uma, cada um, fazendo pequenas massagens. Depois, um a um, adentra-se e passa-se no corredor humano, olhos fechados, bem devagar. Os que estão no corredor fazem gestos de afeto, oferecem ao que caminha o melhor de si: gestos, toques e palavras amorosas de cuidado vão compondo o ambiente sensível dos cuidados na saúde mental. Ao final, quem já passou pelo Corredor abraça quem vem chegando. Depois, em uma roda de conversa, os participantes poderão narrar como se sentiram e, assim, favorecem à equipe e a todos novas aprendizagens.

A feira Somasempre é uma “feira” onde todos passam seus conhecimentos de cuidados, seja por brincadeiras ou artesanato, ou poesia. Com muita brincadeira e cirandas, a feira é uma soma de conhecimentos, práticas de cuidados e acolhimento para todos que participam.

Ray Lima, educador popular em saúde, assim descreve a Feira do Soma Sempre (Figura 03): *“Quem vai à Feira do Soma Sempre deve ter em mente que na vida (sistema livre, fluido em rede-roda aberta) nada se perde, onde ninguém prospera sozinho “parado esperando a morte chegar”. Ali ou aqui ninguém espera, conquanto tudo se espera do encontro com o outro. Cada um age e interage o tempo todo no sentido de construir novas possibilidades de ser e agir (com outros), em busca de novo ser e ser de novo enriquecido, recriado, seja em sua organização, no trabalho, na escola; seja na praia, na igreja, no estádio, na praça, no campo ou na cidade.*

*Quando uma prática vira experiência e, por sua vez, esta se transforma em conhecimento, em saber, significa que mais do que atores nos tornamos também autores do processo da vida e da história humana que expande para além de nós no tempo-espaco das relações que nos metemos. Por isso, acreditando que todos somos portadores de experiência e saber, do mesmo modo temos algo a oferecer e a receber do mundo, de outrem. Sendo assim, ninguém é pobre o bastante para nada ofertar, como ninguém é rico suficientemente para abnegar. Em outras palavras, ninguém absolutamente se basta a si*

*mesmo que independa do convívio ou da interação com o(s) outro(s). A autossuficiência, a penúria, a indiferença e a indisposição não cabem como produto ou valor de escambo na Feira do Soma Sempre e produção do comum. Aqui e lá sempre há o que se apreender, o que dar e receber.*

*E o receptivo para abrigar tantas práticas, experiências e saberes novos advindos da interação e do compartilhamento com o outro é a nossa estrutura mental e física fluida e livremente distribuída associada à curiosidade como ao desejo de aprofundar nossa humanidade e expandi-la. Aliás, a humanidade já se encontra em nosso meio, basta que a ativemos em nós.*

*A Feira do Soma Sempre não seria o lugar de produção de estratégias, modos de pensar e agir para lidar ou encarar o advento do buraco negro de um sistema que tudo sabe, tudo pode, tudo controla, tudo possui, acumula, deforma, absorve e devora?*

*A feira se organiza como movimento em que as comunidades compartilham saberes e experiências e se percebem escutadas a discutir o que estão a aprender nesta busca de promoção da vida no viver com saúde mental”*

## **2.4 Aquarela na Saúde Mental**

A pintura é considerada um veículo através do qual o imaginário pode ser ativado, acessando os conteúdos inconscientes, para que eles possam ser materializados, elaborados e assimilados. Em pinturas de antigos artistas reconhecidos mundialmente, como Da Vinci e Michelangelo, é possível identificar a relação do homem com a religião e como passaram a olhar a si mesmo, valorizando as curvas humanas que antes eram totalmente cobertas. (FONTENELLE, 2018).

Nise da Silveira médica psiquiátrica opôs-se a tratar clientes em sofrimento psíquico utilizando métodos violentos, utilizados na medicina brasileira para pacientes com transtornos mentais. Dessa forma buscando alternativas nas atividades voltadas para a expressividade, o que levou ao diretor do atual Instituto Municipal Nise da Silveira, a fundar a Seção Terapêutica Ocupacional, na qual a médica distribuiu lápis, papeis, pinceis e telas para os pacientes (renomeados de Clientes por Nise), iniciando a humanização e a arteterapia. Para Nise a ideia de inclusão, transformação e cura, através da arte, era pertinente. (FONTENELLE, 2018).

Inspirado no tratamento humanizado por Nise da Silveira, o oficinas em rede passa a oferecer como uma das suas oficinas arte em aquarela.

Aquarela é um tipo de pintura realizada com uma tinta resultante de pigmentos de várias cores misturadas, geralmente com goma arábica, e que precisa ser dissolvida em água para ser utilizada. Além da tinta diferenciada, existe o papel utilizado que para o tipo de pintura deve possuir textura e gramatura diferenciada, já que muito fino pode deformar ou rasgar com a água aplicada sobre o mesmo, uma vez que a quantidade de líquido presente no papel determina a variação de tons.

Durante a oficina de aquarelas a pintura é utilizada como expressão de sentimentos e linguagem não verbal, ressaltando alguns exemplos de histórias sobre a arteterapia na vida de pessoas em sofrimento psicológico. Na oficina de aquarela é apresentado a técnica e os materiais utilizados na mesma como:

1. As tintas de aquarela;
2. Os pincéis;
3. Os papéis específicos
4. Potes de água para descansar os pincéis;
5. Esponja para molhar o papel;
6. Tábua de madeira para fixar o papel molhado, antes dos participantes realizarem a pintura.

As aquarelas pintadas durante as oficinas fizeram parte de três Exposições externas das imagens do inconsciente do programa Oficinando em Rede - Grupo doutores da pintura. Sendo duas no memorial da resistência de Mossoró em 2018 e 2019 e outra na biblioteca Municipal em 2019. Foram realizadas também uma exposição em cada CAPS em 2018 .

### **3 I METODOLOGIA DO ESTUDO**

O presente artigo apresenta uma pesquisa qualitativa, ocorrida entre os anos de 2017 à 2019, buscando compreender percursos de vida e atualização dos modos de conviver que pôde ser observado nas ações dos clientes. Além da importância de projetos de extensão no âmbito acadêmico.

Os atos cenopoéticos tiveram como base o livro “Jogos para atores e não atores” de Augusto Boal, além da referência em cenopoesia dos poetas e atores Ray Lima, Junior Santos, e o psiquiatra e ator Vitor Pordeus.

As oficinas de cenopoesia e aquarela na saúde mental funcionam como tecnologias leves em saúde mental, com o objetivo do fazer em coletivo, com a presença da escrita em diários de bordo para registrar os encontros e produções assim como as evoluções dos que participaram das oficinas, além de entrevistas com os mesmos, uma perspectiva dos clientes as oficinas do programa, fazendo uma análise qualitativa mediante ao estudo das recorrências percebidas nas autonarrativas dos mesmos.

Bolsistas relatam suas experiências nas oficinas e suas perspectivas sob a importância do projeto de extensão no decorrer da vida acadêmica.

Os clientes aqui descritos tomam para si codinomes de pássaros brasileiros, fazendo alusão a forma como se veem a partir do fazer nas oficinas, por sentirem-se livres.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A saúde mental tem sido um tema amplamente discutido no Brasil, e seus paradigmas têm sido constantemente quebrados e novos saberes construídos. As reflexões acerca do campo da saúde mental aumentaram desde que entraram em cena as discussões pela reforma psiquiátrica brasileira. As críticas feitas eram endereçadas principalmente à ciência positivista que legitimou e autorizou o modelo baseado no alienismo e no enclausuramento dos sujeitos ditos doentes mentais (AMARANTE, 2007).

Atualmente, o uso da linguagem artística como forma de intervenção em instituições de saúde mental tem o respaldo de políticas públicas, primeiramente mediante a Lei do SUS nº 8.080 (Brasil, 1990), que prevê a saúde como bem-estar biopsicossocial, garantida por melhores condições de vida que incluem lazer, moradia, trabalho, saneamento dentre outros. A ampliação do conceito de saúde abre possibilidades para pensar os vários aspectos que afetam os sujeitos e a comunidade. O principal marco no campo das políticas públicas que permitiu ampliar as formas de tratamento dos cidadãos em sofrimento psíquico é a aprovação da Lei nº10.216 (Brasil, 2001), conhecida como Lei Paulo Delgado, que regulamenta os direitos desses indivíduos e prevê formas de tratamento que priorizam a reabilitação psicossocial. (FONTENELLE, 2019)

Nise da Silveira (1981) nos ajuda a pensar sobre o afeto catalisador, confrontando sua própria experiência as antigas formas brutais de atendimento aos clientes com diagnóstico de sofrimento psíquico. Nise nos mostra os conhecimentos necessários para cuidar, escutar e compreender as construções dos clientes que vivem em diferentes circunstâncias. O seu trabalho realizado no Hospício Engenho de Dentro do Rio de Janeiro é reconhecido entre todos os que se dedicam a desenvolver práticas de cuidado através da pintura.

O desenvolvimento de oficinas terapêuticas nos CAPS permite a possibilidade de projeção de conflitos internos/externos por meio de atividades artísticas, com a valorização do potencial criativo, imaginativo e expressivo do usuário, além do fortalecimento da autoestima e da autoconfiança, a miscigenação de saberes e a expressão da subjetividade (MARTINS, 2010)

O programa Oficinando em rede na saúde mental é organizado de forma a oportunizar semanalmente encontros com pequenos grupos de clientes atendidos pelos Centros de Atenção Psicossocial de Mossoró-RN. As oficinas envolvem pesquisadores, profissionais em saúde e estudantes (intitulados oficineiros). As oficinas consistem na escuta sensível e atenta de cada cliente em seu percurso e produção que ocorrem na forma da cenopoesia, com cirandas, cantigas, ou da aquarela, com artes em telas.

O presente artigo traz relatos de experiência vivenciados nos CAPS: Centro de Atenção Psicossocial Enf. Mariana Neumam Vidal da Costa e CAPS II: Centro de Atenção Psicossocial Antônio Herculano Soares de Oliveira, localizados nos bairros do Alto da Conceição e Nova Betânia em Mossoró-RN

As oficinas de aquarela deram-se início a partir dos estudos do trabalho de Nise da Silveira, onde foi possível entender que a produção artística dos clientes ou de qualquer outra pessoa vai muito além das representações distorcidas e veladas dos seus sentimentos reprimidos. Como diz a autora, “Uma pintura quase nunca será o mero reflexo de sintomas” (SILVEIRA, 1981).

Com as oficinas de aquarela foi possível perceber a evolução dos clientes e do expressar através das pinturas. Alguns relatos de experiência se fazem presentes sob as oficinas vivenciadas nos anos de 2017 á 2019, clientes relataram a partir da forma como se viam e o que mudou depois do fazer.

*“[...]Não direi que sou uma pintora de imagem reconhecida por apenas olhar, pois cada artista tem sua maneira de expressar o que vê e deseja que os outros vejam. Mas, como explicar tão claramente eu não pinto árvore, casas, animais e etc., que sejam vistos no primeiro olhar de um admirador de quadros. Eu pinto árvore, casas, rostos, animais e etc., de uma maneira abstrata onde só uma pessoa que gosta de arte pode ver. Não quero que vejam em mim o que muitas já viram. Quero que vejam nas pinturas o que a alma interior pode enxergar.” (Beija-Flor) – (Diário de bordo 2017 á 2019)*

Quando perguntado para Beija-Flor como se sentia através da aquarela, seu relato foi de se sentir-se viva. É perceptível ainda nos CAPS reflexos do alienismo e enclausuramento proporcionado por décadas pelo antigo manicômio, onde clientes para estar bem precisam de doses de remédios e em sua maioria passam seus dias entorpecidos de medicamentos, do quais não conseguem libertar-se por achar que de alguma forma só estarão realmente bem por conta das doses medicamentosas. As oficinas demonstram outros métodos de reabilitação psicossocial.

*“ [...] Uma nova pessoa capaz de seguir meus próprios passos, de sonhar e realizar meus sonhos. Me sinto viva, me sinto uma artista que ama o que faz. Me sinto forte para enfrentar os medos que antes me controlavam, me sinto capaz de criar, de poder ajudar os que um dia foram como eu era antes”. (Beija-Flor) – (Diário de bordo 2017 a 2019)*

A mudança na autoconfiança dos clientes, o uso das cores que antes causavam pânico por trazer lembranças que as atormentavam, a confiança da própria família com a mudança perceptível faz com que os clientes se sintam uteis e com autoestima elevada, faz perceber que fazem parte de um todo, que a muito pensavam não existir mais.

*“[...] Depois dos Doutores da Pintura me tornei uma pessoa conhecida e isso foi muito bom para minha autoestima. Hoje não me sinto uma simples paciente do CAPS, me sinto uma doutora, não de pessoas, mas da arte, do amor, da descoberta do criar. Me sinto viva e muito feliz. Oficinando em Rede – Doutores da Pintura”. (Beija-Flor) – (Diário de bordo 2017 a 2019)*

Nas oficinas de teatro/cenopoesia realizadas no CAPS: Centro de Atenção Psicossocial Enf Mariana Neumam Vidal da Costa, são inspiradas no livro “jogos para ator

e não ator” do dramaturgo brasileiro e diretor Augusto Boal. Boal repensou o teatro e criou uma proposta teatral diferenciada, fundando o Teatro do Oprimido. O seu teatro foi pensado para todos, atores e não atores. Durante as oficinas de teatro foram utilizados os diversos jogos e exercícios do Boal.

De acordo com Augusto Boal, o “teatro do oprimido” transforma o espectador em sujeito atuante, fazendo com que o próprio espectador se torne protagonista, conscientizando de sua autonomia diante de fatos cotidianos.

Os participantes artistas em sua maioria sentiam-se reprimidos e envergonhados em realizar os exercícios, assim os oficinairos realizavam em um primeiro momento. Logo cobertos de gargalhadas, sorrisos e coragem, os clientes, um a um, iam inserindo-se nas brincadeiras e logo todos eram atores, e faziam teatro expressando toda forma de pensar, agir e viver.

As oficinas de teatro eram subdivididas em três momentos, o primeiro momento compreendia a escuta sensível e atenta dos participantes pacientes, inicialmente os eles expressavam relatos de como estavam. Nesse momento era perceptível a necessidade que cada um tinha sobre o ser escutado, por muitas vezes em seus relatos, lágrimas se faziam presentes, em sua maioria expressavam-se como descontentes, em muito diziam não se sentir mais úteis para a sociedade, pois era dessa forma que pessoas em seu meio os faziam enxergar-se. Após os relatos e a escuta atenta o corredor de cuidados se fazia presente, seguindo de cantigas animadas de Ray Lima como “*eu quero pegar o sol*”. Em um segundo momento as brincadeiras de Augusto Boal davam início ao teatro do oprimido. Os clientes aderem o ritmo do teatro e começam a trazer para a dramaturgia suas próprias verdades, onde o final eles mesmos que eram protagonistas atuantes de suas próprias histórias. Logo em um terceiro momento após cirandas e cantigas, os clientes relatavam o que sentiram após o final de cada oficina.

Em todo o processo muitos informaram o quão importante o programa afinando em rede estava sendo para o sentir-se útil, para o “ser protagonista da minha própria história”, a importância da identidade, do chamar pelo nome e o tratamento como igual fez com que a autoestima e autoconfiança de muitos participantes artistas fossem significativas, para alguns a comunicação que antes era reprimida e limitada apenas por gestos tornava-se parceira de conquistas.

Um dos exercícios do Augusto Boal consiste em uma pessoa começar uma história onde encenava e logo após outro já se fazia presente e complementando com criatividade e animação, gestos, sentir e a semelhança com a realidade eram notórios de forma que era possível perceber histórias contadas de seus mais íntimos desejos, desde o querer andar e demonstrar toda gratidão pelo esforço de sua família, até princesa encantada que conseguiu seu final feliz.

O aprendizado através da cenopoesia permitiu aos envolvidos participarem ativamente, tornando-os conscientes de suas próprias autonomias, vivenciando papéis



onde não existe distinção de quem é protagonista ou espectador, dando a oportunidade de transformar as cenas em que nelas estão inseridos podendo através da oficina modificar suas próprias realidades.

Um dos eventos tão esperados por todos os artistas participantes é a Jornada do Programa Oficinando em Rede e Saúde Mental. As jornadas acontecem anualmente e integram ações do programa de extensão oficinando em Rede da UFERSA em Mossoró e cidades circunvizinhas. Anualmente uma temática diferente é lançada. As jornadas de estudo estão integradas ao trabalho miúdo, imenso e continuado do fazer junto com artistas, clientes dos CAPS, onde se faz presente, cirandas, corredores de cuidados, brincadeiras de modo a cuidar da saúde mental ao mesmo tempo em que se cuida do mundo que se vive.

Clientes, doutores, autoridades, poetas, cenopoetas, artesãs, atores, alunos, pesquisadores, reunidos com um propósito. Em um ambiente regado de emoções, carinho e afeto, histórias surgem, emoções são apresentadas e representadas. Um resumo de todas as oficinas, trabalho e pesquisa em um só lugar.

O programa oficinando em rede é presente e significativo na evolução do ser em sofrimento psíquico. Nas jornadas abre espaço para relatos, trabalhos e exposições de todos os públicos e alguns relatos de artistas participantes sobre o programa, e sua importância no tratamento de cura e libertação.

*“[...] Eu gosto de fazer as pinturas, eu gosto de pinta-las, eu gosto de exibir, porque eu acho importante que a gente faça aquilo que a gente gosta. E exibi-las para o público é gratificante porque você vê cada pessoa observando e dando valor aquilo que você faz. É... eu quero participar assim... A minha vida não é fácil de ser contada, não é fácil de ser explicada, não é fácil de ser falada ao público, [...] Eu quando criança tive um pouco dos meus problemas mentais, tive meus abusivos, teve minhas desconsiderações que eu fui muito desconsiderada quando criança, não vivi uma infância muito boa, não sei muito o que é viver a vida. A maioria das vezes eu passo por ela. Oficinando em rede, foi muito importante para mim, porque desenvolveu mais minha capacidade de me expressar, com esse programa eu consigo falar para as pessoas aquilo que eu guardo pra mim mesmo, e eu acredito ser importante as pessoas saberem um pouco da nossa história. [...]” (Bem-ti-vi) – (Diário de bordo 2017 a 2019)*

A extensão é uma via de mão dupla, onde possibilita a interação do meio acadêmico com a sociedade, tendo como princípio básico contribuir para o desenvolvimento e transformação desta. Além de ser fundamental para a formação profissional, o programa oficinando em rede e saúde mental possibilita a inserção da pesquisa e interdisciplinaridade entre o ser e o fazer, contribuindo não apenas nas pesquisas acadêmicas como também na interação com a comunidade. Assim como os artistas participantes, os bolsistas do oficinando em rede relatam sua experiência no programa e pesquisas e projetos relacionando a teoria com a prática.

Para Carcará acadêmico do Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia o

programa possibilitou o aprofundamento de seus conhecimentos sobre “a importância do projeto de extensão em saúde mental no curso de engenharia”.

*“Observa que, em geral, os projetos de extensão têm como objetivo preparar melhor os futuros profissionais para as reais demandas da sociedade, fornecendo uma troca de conhecimento entre a comunidade acadêmica e a sociedade. As ações de extensão permitem que os alunos coloquem em prática conhecimentos teóricos vistos em sala e, ao mesmo tempo, a reflexão sobre como a formação do estudante interage com as necessidades das comunidades. Alguns programas de extensão têm nas engenharias uma função diferenciada dos demais, como é o caso do projeto Oficinando Em Rede, por oportunizar uma experiência e estudos que envolvem a dimensão da subjetividade que não é priorizada no currículo de formação, nas disciplinas” (Carcará) – (Diário de bordo 2017 a 2019).*

Carcará indica que:

*“O programa Oficinando em rede desenvolve mais o lado humano do futuro engenheiro que passa toda uma graduação lidando apenas com números, letras e símbolos, porém passará o resto da vida lidando com pessoas. Considera que, ao integrar as artes e as tecnologias de informação e comunicação, trabalhando com diversos tipos de linguagens: pintura, teatro, jogos, cirandas, o programa ajuda os estudantes bolsistas a desenvolverem as habilidades de comunicação e expressão, o que não se aprende em sala de aula durante sua formação” (Carcará) – (Diário de bordo 2017 a 2019).*

Primavera considera que a arteterapia atua como um catalisador, favorecendo o processo terapêutico dos clientes que participam das oficinas de pintura. Como modo de livre expressão do inconsciente, os artistas entram em contato com conteúdos internos e tornam perceptíveis nas telas e nas aquarelas como acontecem as relações entre o mundo interno e externo, seus conflitos e possibilidades de reconfiguração. O estudo de pesquisa realizado por Primavera conta com o aporte teórico de Nise da Silveira e todo o trabalho de Beija Flor artista que integra o grupo “Doutores da Pintura” de um dos CAPS

Pardal é acadêmico do curso de Direito e bolsista PIBIC. Seu propósito é construir conhecimentos sobre a promoção da saúde mental contando com documentos e proposições do campo jurídico. Considera que a universidade pública se sustenta na interseção entre três pilares: o ensino, a pesquisa e a extensão. Desses três, ressalta a extensão que é justamente de onde emergem as perguntas que darão base ao desenvolvimento de pesquisas científicas e a novos conhecimentos que enriquecem o trabalho do ensino.

Pardal considera inicialmente que o programa Oficinando em Rede é um desses projetos de extensão capazes de prover aos seus membros a oportunidade de pesquisar nas mais variadas áreas tangentes ao tema maior: saúde mental. Diversos estudos foram engendrados e concluídos por seus colaboradores docentes e discentes, e o número cresce exponencialmente a cada período encerrado.

João-de-Barro manifesta interesse em estudar sobre as possibilidades do teatro

como modo de expressão que favoreça a comunicação e a socialização de crianças autistas atendidas no Centro de Atenção Psicossocial da Infância e da Adolescência. Entende que, como modo de agir na linguagem, o teatro e tem muito a contribuir para o desenvolvimento da comunicação e socialização de crianças autistas. O objetivo é, com o propósito de oportunizar que essas crianças possam se expressar mais livremente, já que para eles, que vivem em um mundo próprio, o teatro pode ser uma linguagem que favoreça a comunicação e interação entre eles, sua família e a comunidade.

## 5 | CONCLUSÃO

Neste presente artigo, podemos perceber as transformações afetivas e cognitivas, contando com o percurso dos clientes que participaram do programa Oficinando em Rede e Saúde Mental de Mossoró – RN. O artigo tem por base dados coletados através de relato de experiência exercido nos anos de 2017 a 2019.

Oficinas realizadas através da Cenopoesia e artes na saúde mental, um trabalho promovendo a saúde dos clientes, além da possibilidade de experiência no Projeto de Extensão oferecido pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido, intitulado Programa Oficinando em Rede e Saúde Mental, e sua influência na sociedade compreendendo mudanças cognitivas e afetivas através de tecnologias leves como a pintura em aquarela e a cenopoesia, promovendo impacto aos clientes e conseqüentemente uma melhor qualidade de vida.

O programa Oficinando em Rede e Saúde Mental permitiu através das oficinas ser possível compreender os participantes e a partir delas auxiliar a concentração, memória, linguagem e confiança dos artistas participantes possibilitando a eles a capacidade de compartilhar emoções, ideias e experiências, além de que trabalhando com diversas linguagens como pintura, teatro, cenopoesia, jogos, o programa auxilia os estudantes bolsistas oficinairos a desenvolverem as habilidades de comunicação e expressão, além de oportunizar uma experiência e estudos que envolvem a dimensão da subjetividade que não é priorizada no currículo de formação das disciplinas.

## REFERÊNCIAS

AMARANTE, P. Saúde Mental e Atenção Psicossocial. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2007.

BOAL, A. 200 exercicios e jogos para o ator e não-ator com vontade de dizer algo através do teatro, 4ªed. Civilização Brasileira, 1989.

BOAL, A. Teatro do oprimido e outras poéticas políticas, 6ªed. Civilização Brasileira, 1975

DEMOLY, K.R.A. Linguagens, tecnologias, saúde Mental: Sobre a atenção e cuidado de si e do outro na convivência. In: **Redes de Cuidado e Aprendizagem na saúde mental e na educação**. 1. ed. Ijuí - RS: Unijuí, 2017. v. 1, cap. 1, p. 23-38. (Org.) Karla Amaral Demol.; Maria Aridenise Macena Fontenellee Maria de Fátima Lima Chagas.

DESLANDES, M.S.S.; ARANTES, A.R., **A extensão universitária como meio de transformação social e profissional**. Sinapse Múltipla, 6(2), dez, 179-163, 2017.

FONTENELLE, M.A.M. ; LIMA, Q.F. EXTENSÃO INTERDISCIPLINAR: RELATO DE EXPERIÊNCIA. **CEBEU**, [S. l.], p. 4-5, 11 set. 2018.

FONTENELLE, M.A.M. 1. Exposição de aquarelas dos Doutores da Pintura – Relato de Experiência. **JERPOR2019**, [s. l.], 22 ago. 2019

LIMA, R. Cenopoesia do Brasil. *In: **Cenopoesia do Brasil***. [S. l.], 06. 2012. Disponível em: <http://www.cenopoesiadobrasil.blogspot.com/2012/06/musica-de-ray-lima-e-johnson-soares.html>. Acesso em: 11 nov. 2020.

MARTINS, AKL; OLIVEIRA, J.D.; SILVA, K.V.L.G.; MOREIRA, D.A.; SOUZA, A.M.A. Therapeutic workshops in the perspective from CAPS' users: a descriptive study. *Rev Enferm UFPE On line*. 2010; [citado 2010 jan 15]; 4(1):70-6. Disponível em: <http://www.ufpe.br/revistaenfermagem/index.php/revista/article/view/515/443>

OLIVEIRA, V.F; TOZZI, M. J.; ELARRAT, J.H.A. Projetos de extensão na engenharia: uma responsabilidade social para além das demandas. In: *Desafios da educação em engenharia: Formação em engenharia, Internacionalização, Experiências metodológicas e Proposições*. Brasília: ABENGE, 2013.

RICKES, S.M.; MARASCHIN, C. **Oficinando em Rede: Marcas iniciais de um percurso**. *In: OFICINANDO em Rede: Oficinas, tecnologias e saúde mental*. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2011. v. 1, cap. 1, p. 19-39.

SILVEIRA, N. **Imagens do inconsciente**. Rio de Janeiro, Alhambra, 1981.

VILELA, A. L. M., VILELA, G. L. S. e LIMA, E. de O.. Ensino a distância para cursos presenciais de engenharia: o caso da escola Politécnica de Pernambuco. In: **Revista de Ensino de Engenharia**. Vol.35 – Número 1. janeiro/junho de 2016. Abenge.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**JOÃO DALLAMUTA** - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Doutorando em Engenharia Espacial pelo INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

**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.

**RENNAN OTAVIO KANASHIRO** - Professor na Universidade Norte do Paraná (Unopar). Graduação e Mestrado em Engenharia Mecânica pela UTFPR. Trabalha com temas: Identificação de Sistemas, Problema Inverso e Otimização

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Alumina 97, 99, 100, 101, 102, 105, 106, 107

Ansys 3, 17, 18, 120, 132, 135, 176

Armazenagem de grãos 66, 67, 68, 69, 81, 82, 83

### B

Barragens de rejeito 158, 159, 164, 169, 170

Biomateriais 97, 98, 99, 106, 107

### C

Concreto 1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 26, 27, 31, 32, 33, 35, 39, 66, 69, 71, 75, 76, 80, 81, 82, 121, 170

Concreto armado 1, 2, 17, 18, 19, 33, 71, 76, 82

### D

Descarte de lodo 136, 137, 139

Diseño 120, 121, 123, 124, 125, 128

### E

Energia nuclear 58, 61

Ensaio de flexão de três pontos 1, 9, 16

Estabilidade 2, 99, 100, 136, 137, 147, 148, 149, 151, 153, 154, 156, 158, 159, 163, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 192

Estructuras 82, 120, 123, 128

Etanol 84, 85, 87, 89, 94, 95, 212, 222, 226, 231

Extensômetro 171

### F

Falhas térmicas 84, 85, 86, 87, 93

Fibra de coco babaçu 35

Flexión 120, 130, 131

Forjamento 172, 174, 178

Frequência de descarga 136, 142

### G

Gases de falha 85

## **M**

Metanol 84, 85, 87, 89, 94, 95, 224

Método numérico 2, 18

Microalgas 147, 148, 149, 156

Microfundido 172, 175, 178

## **O**

Óleo isolante 84, 85, 86, 87, 92, 147

## **P**

Pandeo 120, 134, 135

Papel kraft isolante 84, 85, 87, 198

Pó de ostra 40, 42, 44, 45, 46, 47, 49

Polipropileno 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 52, 54, 55, 56, 57, 209, 211, 217, 218, 219

Popularização da ciência 58

Preservação ambiental 40, 42

Propriedades mecânicas 26, 35, 39, 97, 101, 102, 202, 203, 204, 211

Prótese craniomaxilofacial 97

## **R**

Reforço 35, 40, 45, 48, 56, 209, 210, 212, 219

Resistencia à compressão 35

Rigidez 45, 120, 127, 128, 153, 209, 223

Rod end 171, 172, 173, 174, 175, 178

## **S**

Silo horizontal 66, 71, 72, 75, 76

Simulação numérica 1, 18, 19, 23, 31, 32, 33, 171, 176

Sismicidade 158, 159, 162, 167, 170

Sólidos sedimentáveis 136, 138, 139, 141, 145

## **T**

Teatro científico 58, 59

Trabalhabilidade 35

## **V**

Viga cilíndrica 18, 19, 20, 22, 27

## **Z**

Zircônia 97, 100, 101, 102, 105, 107



# ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de  
Caráter Multidisciplinar

4

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

# ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de  
Caráter Multidisciplinar

4

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 