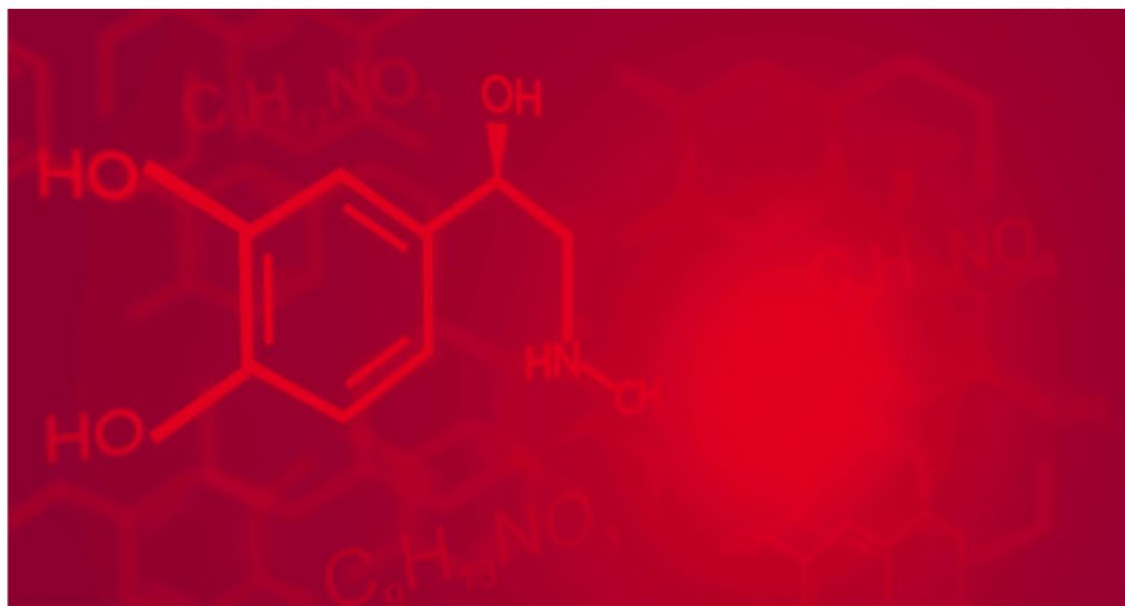


RAFAEL LEAL DA SILVA  
MILSON DOS SANTOS BARBOSA  
ROGER GOULART MELLO  
ORGANIZADORES



PESQUISAS MULTIDISCIPLINARES EM

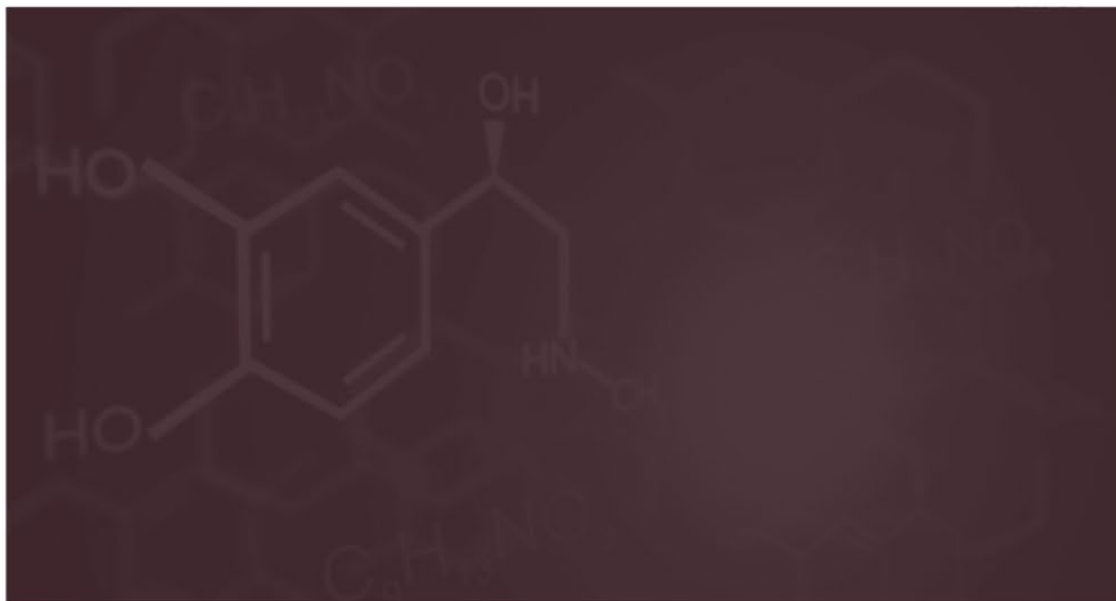
# Ciências Exatas

3



2022

RAFAEL LEAL DA SILVA  
MILSON DOS SANTOS BARBOSA  
ROGER GOULART MELLO  
ORGANIZADORES



PESQUISAS MULTIDISCIPLINARES EM

# Ciências Exatas

3



2022

2022 by Editora e-Publicar  
Copyright © Editora e-Publicar  
Copyright do Texto © 2022 Os autores  
Copyright da Edição © 2022 Editora e-Publicar  
Direitos para esta edição cedidos à Editora e-Publicar pelos  
autores

**Editora Chefe**

Patrícia Gonçalves de Freitas

**Editor**

Roger Goulart Mello

**Diagramação**

Dandara Goulart Mello

Lidiane Bilchez Jordão

Roger Goulart Mello

**Projeto gráfico e Edição de Arte**

Patrícia Gonçalves de Freitas

**Revisão**

Os autores

**PESQUISAS MULTIDISCIPLINARES EM CIÊNCIAS EXATAS, VOLUME 3.**

Todo o conteúdo dos capítulos, dados, informações e correções são de responsabilidade exclusiva dos autores. O download e compartilhamento da obra são permitidos desde que os créditos sejam devidamente atribuídos aos autores. É vedada a realização de alterações na obra, assim como sua utilização para fins comerciais.

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

**Conselho Editorial**

Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade Federal de Santa Catarina

Alessandra Dale Giacomini Terra – Universidade Federal Fluminense

Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

Andrelize Schabo Ferreira de Assis – Universidade Federal de Rondônia

Bianca Gabriely Ferreira Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Cristiana Barcelos da Silva – Universidade do Estado de Minas Gerais

Cristiane Elisa Ribas Batista – Universidade Federal de Santa Catarina

Daniel Ordane da Costa Vale – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Danyelle Andrade Mota – Universidade Tiradentes

Dayanne Tomaz Casimiro da Silva - Universidade Federal de Pernambuco

Deivid Alex dos Santos - Universidade Estadual de Londrina

Diogo Luiz Lima Augusto – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Edilene Dias Santos - Universidade Federal de Campina Grande

Edwaldo Costa – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo

Elis Regina Barbosa Angelo – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo

Ernane Rosa Martins - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás

Fábio Pereira Cerdera – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Francisco Oricelio da Silva Brindeiro – Universidade Estadual do Ceará



2022

Glaucio Martins da Silva Bandeira – Universidade Federal Fluminense  
Helio Fernando Lobo Nogueira da Gama - Universidade Estadual De Santa Cruz  
Inaldo Kley do Nascimento Moraes – Universidade CEUMA  
Jesus Rodrigues Lemos - Universidade Federal do Delta do Parnaíba  
João Paulo Hergesel - Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Jose Henrique de Lacerda Furtado – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Jordany Gomes da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Jucilene Oliveira de Sousa – Universidade Estadual de Campinas  
Luana Lima Guimarães – Universidade Federal do Ceará  
Luma Mirely de Souza Brandão – Universidade Tiradentes  
Marcos Pereira dos Santos - Faculdade Eugênio Gomes  
Mateus Dias Antunes – Universidade de São Paulo  
Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes  
Naiola Paiva de Miranda - Universidade Federal do Ceará  
Rafael Leal da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Rita Rodrigues de Souza - Universidade Estadual Paulista  
Rodrigo Lema Del Rio Martins - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Willian Douglas Guilherme - Universidade Federal do Tocantins

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

P474 Pesquisas multidisciplinares em ciências exatas [livro eletrônico]:  
volume 3 / Organizadores Rafael Leal da Silva, Milson dos  
Santos Barbosa, Roger Goulart Mello. – Rio de Janeiro, RJ: e-  
Publicar, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5364-081-8

1. Ciências exatas – Pesquisa – Brasil. I. Silva, Rafael Leal da.  
II. Barbosa, Milson dos Santos. III. Mello, Roger Goulart.

CDD 510

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

**Editora e-Publicar**

Rio de Janeiro, Brasil

contato@editorapublicar.com.br

www.editorapublicar.com.br



2022

## **Apresentação**

É com grande satisfação que a Editora e-Publicar vem apresentar a obra intitulada "Pesquisas multidisciplinares em ciências exatas, Volume 3 ". Neste livro engajados pesquisadores contribuíram com suas pesquisas. Esta obra é composta por capítulos que abordam múltiplos temas da área.

Desejamos a todos uma excelente leitura!

Editora e-Publicar

# Sumário

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	13
MODELAGEM MATEMÁTICA DO COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA DO AZEITE DE OLIVA A PARTIR DA ENERGIA DE ATIVAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA .....	13
	César Augusto Canciam
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	26
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA MASSA ESPECÍFICA E NO COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA DE SOLUÇÕES AQUOSAS DE ÁCIDO SULFÚRICO .....	26
	César Augusto Canciam
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	37
ARQUITETURA, MÍDIA E TECNOLOGIA: PROJETANDO PARA O MUNDO DIGITAL .....	37
	Isadora de Almeida Frutuoso Francisco Machado Filho
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	57
PROPOSTA DE MAPA DE RISCO DE LABORATÓRIO NO CONTEXTO DA PANDEMIA (COVID-19) .....	57
	Sâmela Leal Barros Yuciara Barbosa Costa Ferreira Amanda Priscila Silva Nascimento Isabela Alves dos Santos Suelyn Fabiana Aciole Morais
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	70
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE BiVO <sub>4</sub> : INFLUÊNCIA DO pH NA FORMAÇÃO DAS HOMOJUNÇÕES E NO DESEMPENHO FOTOCATALÍTICO.....	70
DOI 10.47402/ed.ep.c202217675818	Caroline Santana dos Santos Beatriz Caetano Benuto Rafael Junqueira Leal Raul Zanchet Marcelo Zampieri Roberto de Matos

**CAPÍTULO 6** ..... 91  
ANÁLISE DE DADOS DO ATLAS DE VULNERABILIDADE SOCIAL NOS CRITÉRIOS  
DE EDUCAÇÃO, TRABALHO E ANALFABETISMO EM PETROLINA-PE E JUAZEIRO-  
BA ..... 91

**DOI 10.47402/ed.ep.c202216996818**

Danielle Juliana Silva Martins  
Fábio Cristiano Souza Oliveira  
Maria do Socorro Tavares Cavalcante Vieira  
Tiago Pereira da Costa  
Jorge Luis Cavalcanti Ramos  
Vivianni Marques Leite dos Santos  
Lucia Marisy Souza Ribeiro de Oliveira  
Helinando Pequeno de Oliveira

**CAPÍTULO 7** ..... 106  
OTIMIZAÇÃO DA GESTÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA  
BARRAGEM DE OITICICA ..... 106

**DOI 10.47402/ed.ep.c202216827818**

Débora Maria de Castro Aquino  
Luênia Kaline Tavares da Silva  
Kácio Alessandro de Macedo  
Luciano Henrique Pereira da Silva

**CAPÍTULO 8** ..... 119  
ESTUDO COMPARATIVO ENTRE BLOCOS CERÂMICOS E BLOCOS DE CONCRETO  
PARA EXECUÇÃO DE ALVENARIA ..... 119

**DOI 10.47402/ed.ep.c202218038818**

Guilherme Matheus Bezerra Fernandes  
Felipe da Cruz Dias

**CAPÍTULO 9** ..... 131  
COMPATIBILIZAÇÃO E ELABORAÇÃO DE PROJETOS COM APLICAÇÃO BIM ... 131

**DOI 10.47402/ed.ep.c202218049818**

Gustavo Souza da Silva  
Felipe da Cruz Dias

**CAPÍTULO 10** ..... 146  
VIABILIDADE ECONÔMICA DE INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM  
RESIDÊNCIAS EM BRASÍLIA-DF ..... 146

**DOI 10.47402/ed.ep.c2022180510818**

Matheus Cavalcante Ribeiro  
Felipe da Cruz Dias

**CAPÍTULO 11** ..... 161  
ESTUDO COMPARATIVO DE APLICAÇÃO DE FORMAS PARA LAJES MACIÇA  
SISTEMA MODULAR X SISTEMA CONVENCIONAL COM TORRES ..... 161

**DOI 10.47402/ed.ep.c2022180611818**

Roberto Pereira Camargos Júnior  
Felipe Da Cruz Dias

<b>CAPÍTULO 12</b> .....	179
ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA SUBSTITUIÇÃO DO ASFALTO CONVENCIONAL PARA O PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO ALTERNATIVA DE DIMINUIR AS ENCHENTES NAS ÁREAS URBANAS .....	179
<b>DOI 10.47402/ed.ep.c2022180712818</b>	<b>Ronieri Correa Camelo Felipe da Cruz Dias</b>
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	195
OTIMIZAÇÃO DE NANOFIBRAS DE POLI(FLUORETO DE VINILIDENO) OBTIDOS PELA TÉCNICA DE FIAÇÃO POR SOPRO EM SOLUÇÃO.....	195
<b>DOI 10.47402/ed.ep.c2022163613818</b>	<b>Lincon Zadorosny Gabriel da Cruz Dias Alex Otávio Sanches José Aantônio Malmonge Mirian Cristina dos Santos Luiz Francisco Malmonge</b>
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	214
BIOATIVIDADE DO ÓLEO ESSENCIAL EXTRAÍDO DA ESPÉCIE <i>Protium Heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand.....	214
<b>DOI 10.47402/ed.ep.c2022176614818</b>	<b>Gabriel Nunes dos Santos Kethlin de Carvalho Santos Romão Khetrin Silva Maciel Tácia Costa Veloso</b>
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	222
SISTEMA CONSTRUTIVO LIGHT STEEL FRAME (LSF) E ALVENARIA CONVENCIONAL: BREVE COMPARAÇÃO TEÓRICA .....	222
<b>DOI 10.47402/ed.ep.c2022175715818</b>	<b>Glauco Nonose Negrão Rafaella Salvador Paulino</b>
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	239
APLICAÇÃO DO TESTE DE VAN DER WAERDEN NA COMPARAÇÃO ENTRE NÍVEIS DE MATERIAL PARTICULADO MP10 NO MUNICÍPIO DE BARRA MANSA/RJ. ....	239
<b>DOI 10.47402/ed.ep.c2022176516818</b>	<b>Igor Campos de Almeida Lima Marcello Montillo Provenza Soraya de Oliveira Bandeira Cristiano Pontes Nobre Paulo Henrique Couto Simões Jorge Luiz de Jesus Goulart Yuri Duarte Porto Victor Moreira</b>



<b>CAPÍTULO 17</b> .....	250
CARGA DE VENTO ATUANTE EM ESTUFA AGRÍCOLA COM COBERTURA EM ARCO .....	250
<b>DOI 10.47402/ed.ep.c2022164517818</b>	<b>Carlos Alexandre da Conceição José Gabriel Vieira Neto</b>
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	271
FUNDAÇÕES UTILIZADAS PARA SOLOS ARENOSOS E ARGILOSOS.....	271
<b>DOI 10.47402/ed.ep.c2022176018818</b>	<b>Joseneto de Souza Caylanne Mendes de Souza Leticia Alencar de Souza Luanda Dantas Sales Tayná Silva Gomes</b>
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	282
A INTERPRETAÇÃO DA NATUREZA DA LUZ AO LONGO DA HISTÓRIA: UMA REVISÃO DE LITERATURA .....	282
<b>DOI 10.47402/ed.ep.c2022168819818</b>	<b>Eliane Kovalek Scheifer Oscar Rodrigues dos Santos Debora Ferreira da Silva Wladimir Sérgio Braga Adriana da Silva Fontes</b>
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	302
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE TRATAMENTO DO EFLUENTE ORIGINÁRIO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA CERVEJA ARTESANAL E DO BIODIESEL UTILIZANDO SEMENTE DE MORINGA OLEIFERA .....	302
<b>DOI 10.47402/ed.ep.c2022169320818</b>	<b>Catharine Cardoso Borgo Pedro Alves Bezerra Morais</b>
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	320
RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM GRUPOS INTERATIVOS: UMA INTENÇÃO DIDÁTICA PARA O ENSINO DE COMBINÁTORIA NO ENSINO FUNDAMENTAL .	320
<b>DOI 10.47402/ed.ep.c2022173221818</b>	<b>Renato Duarte Gomes Marcelo Gomes Germano</b>
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	332
DETERMINAÇÃO VOLTAMÉTRICA E AMPEROMÉTRICA DE SERTRALINA UTILIZANDO UM ELETRODO DE DIAMANTE DOPADO COM BORO .....	332
<b>DOI 10.47402/ed.ep.c2022178022818</b>	<b>Vinícius Avanzi Barbosa Mascareli Roberta Antigo Medeiros César Ricardo Teixeira Tarley Juliana Costa Rolim Galvão Mayara da Silva Araújo</b>

**CAPÍTULO 23** ..... 352  
ANÁLISE COMPARATIVA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE  
MICROSSEGREGAÇÃO UTILIZANDO O SOFTWARE GEOGEBRA EM CURSOS DE  
ENGENHARIA..... 352

**DOI 10.47402/ed.ep.c2022175823818**

José Elias dos Santos Filho  
Roberto Mariano de Araújo Filho  
Sérgio de Albuquerque Souza

**CAPÍTULO 24** ..... 364  
RELAÇÃO ESPACIAL DOS CASOS DE COVID-19 DA REGIÃO METROPOLITANA DE  
SOROCABA COM INDICADORES SOCIOECONÔMICOS ..... 364

**DOI 10.47402/ed.ep.c2022176824818**

Gabriela Gomes  
João de Jesus Vieira  
Liliane Moreira Nery  
Jonilson Michel Fontes Galvão  
Darllan Collins da Cunha e Silva  
Vanessa Cezar Simonetti

**CAPÍTULO 25** ..... 382  
AVALIAÇÃO DO EFEITO DOS PARÂMETROS POTENCIAL E pH NA DEPOSIÇÃO  
ELETROFORÉTICA DO REVESTIMENTO COMPÓSITO DE QUITOSANA-  
TUNGSTÊNIO..... 382

José Anderson Machado Oliveira  
Gracimário Bezerra da Silva  
Danilo Lima Dantas  
Alison Silva Oliveira  
Antonio Daniel Buriti de Macedo  
Renato Alexandre Costa de Santana

**CAPÍTULO 26** ..... 394  
ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE FRAÇÕES DAS CASCAS DO CAULE DE *GUSTAVIA*  
*AUGUSTA* (ERICALES: LECYTHIDACEAE) E SEUS COMPOSTOS FENÓLICOS..... 394

**DOI 10.47402/ed.ep.c2022178826818**

André Santos Nascimento  
Thiago de Sousa Batista  
Efraim Costa Pereira  
Richard Pereira Dutra  
Queli Cristina Fidelis

**CAPÍTULO 27** ..... 416  
DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS: EXPERIÊNCIAS  
REALIZADAS NA UFSM – FREDERICO WESTPHALEN/RS ..... 416

Sidnei Renato Silveira  
Adriana Sadowski de Souza  
Antônio Rodrigo Delepiane de Vit  
Guilherme Bernardino da Cunha  
Nara Martini Bigolin

**CAPÍTULO 28** ..... 430  
A INFLUÊNCIA MORFOLÓGICA DE ELETROFIAÇÕES DE VANADATO DE BISMUTO  
NA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE ..... 430  
**DOI 10.47402/ed.ep.c2022176428818**

Beatriz Caetano Benuto  
Caroline Santana dos Santos  
Roberto de Matos

**CAPÍTULO 29** ..... 447  
APROVEITAMENTO DA BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA PARA OBTENÇÃO DE  
METIL LEVULINATO: PRODUÇÃO CIENTÍFICA, SÍNTESE E ENSAIOS  
PRELIMINARES ..... 447  
**DOI 10.47402/ed.ep.c2022178529818**

Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva  
Poliana Pinheiro da Silva  
Eduardo Lins de Barros Neto

**CAPÍTULO 30** ..... 459  
ANÁLISE MULTITEMPORAL DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO  
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COTIA – SÃO PAULO –  
BRASIL ..... 459  
**DOI 10.47402/ed.ep.c2022181030818**

Bruno Pereira Toniolo  
Darllan Collins da Cunha e Silva  
Roberto Wagner Lourenço



# CAPÍTULO 1

## MODELAGEM MATEMÁTICA DO COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA DO AZEITE DE OLIVA A PARTIR DA ENERGIA DE ATIVAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA

César Augusto Canciam

### RESUMO


A massa específica e o coeficiente de expansão térmica são grandezas usadas na caracterização dos materiais. Os objetivos deste trabalho foram encontrar um modelo matemático associando o coeficiente de expansão térmica e a energia de ativação da massa específica do azeite de oliva e estudar o efeito da temperatura sobre o coeficiente de expansão térmica desse material. A energia de ativação é um parâmetro que está relacionado com a susceptibilidade térmica de um material, ou seja, materiais que apresentam baixos valores dessa grandeza são considerados menos susceptíveis à variação de temperatura. Utilizando uma equação do tipo Arrhenius e os dados experimentais da massa específica do azeite de oliva, entre 313,15 e 373,15 K e pressão de 1 atm, o valor encontrado para a energia de ativação da massa específica foi de  $718,3022 \text{ J.mol}^{-1}$ . A partir da energia de ativação da massa específica, foi encontrado um modelo matemático para o coeficiente de expansão térmica relacionando esta grandeza e a temperatura absoluta. Na literatura consultada, constatou-se que a energia de ativação da massa específica do azeite de oliva encontra-se próximo à energia de ativação da massa específica do biodiesel metílico de mamona.

**PALAVRAS-CHAVE:** modelo; dilatação; óleo; susceptibilidade térmica.

### INTRODUÇÃO

Massa específica, capacidade calorífica, difusividade térmica e condutividade térmica são consideradas como propriedades termofísicas dos materiais (Magerromov et al., 2008, p. 254). A massa específica é definida como a razão entre a massa do material e seu volume ocupado. Dados sobre esta grandeza são necessários no projeto e na avaliação de equipamentos como evaporadores, bombas, filtros e misturadores, além de servir como índice de qualidade para o produto final (Alvarado e Romero, 1989, p. 15).

O conhecimento das propriedades termofísicas dos materiais é importante do ponto de vista termodinâmico e de Transferência de calor. Bergman et al. (2014, p. 157) comentam que o conhecimento dessas propriedades é essencial para o projeto eficiente e econômico de operações de processamento envolvendo a Transferência de calor. Falhas em equipamentos ou no projeto de processos podem ser atribuídas à falta dessas informações devido à seleção inadequada dos valores das propriedades termofísicas utilizadas na análise inicial dos sistemas em estudo.



Conhecer a massa específica de materiais líquidos é útil em muitos processos industriais. Na indústria alimentícia, por exemplo, é comum a utilização da massa específica como parâmetro de controle do processo (Araújo, 2008, p. 68). Parâmetros como índice de acidez, índice de saponificação, índice de peróxido, índice de refração e massa específica são empregados no controle de qualidade dos óleos vegetais. O controle de qualidade é uma medida adotada pelas organizações com o objetivo de definir uniformemente padrões em procedimentos, políticas e ações (Carvalho, 2017, p. 35).

Almeida et al. (2011, p. 6) comentam que a determinação da massa específica nas indústrias permite verificar se houve adulteração nos produtos. No Brasil, a fraude alimentar é estabelecida como adulteração e falsificação. Estima-se que 98 % das fraudes sejam motivadas por ganhos econômicos, sendo realizadas por meio de processos que visam atribuir aos produtos qualidades e requisitos que não possuem ou escondem más condições estruturais e/ou sanitárias (Carvalho, 2017, p. 16).

A massa específica de um líquido reflete o grau de empacotamento das suas espécies químicas, que é resultado da intensidade das interações entre elas. Volume e massa específica são grandezas inversamente proporcionais. Quanto mais fortes são as interações, mais compactas estão as espécies químicas; assim, o volume será menor, e conseqüentemente, a massa específica será maior (Chang e College, 2002, p. 424).

Os óleos vegetais consistem principalmente de estruturas lipídicas, como triacilgliceróis e, em menores quantidades, de ácidos graxos livres, monoacilgliceróis e diacilgliceróis, que são formados a partir de processos de degradação. Em menores quantidades, são encontrados esteróis, tocoferóis e fosfolípídeos, que variam de acordo com os tipos de óleos vegetais. O azeite de oliva apresenta uma composição de ácidos graxos formada por ácido oleico (55-83 %), ácido linoleico (3,5-21 %), ácido palmítico (7,5-20 %), ácido esteárico (0,5-5 %) e ácido palmitoleico (0,3-3,5 %) (Tonin et al., 2018, p. 1090).

O coeficiente de expansão térmica é considerado uma propriedade térmica dos materiais e está relacionado à resposta dos materiais à variação de temperatura (Callister Junior e Rethwisch, 2016, p. 724). Em geral, quando um material é aquecido, suas dimensões aumentam. Esse processo de dilatação ocorre devido ao aumento do grau de agitação das espécies químicas que compõem o material. Ao aquecer o material, as espécies químicas mais agitadas tendem a se afastar, aumentando a distância entre elas. Esse maior espaçamento se manifesta pelo

aumento das dimensões do material (Chang e College, 2002, p.418; Halliday, Resnick e Walker, 2012, p.189).

Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram encontrar um modelo matemático associando o coeficiente de expansão térmica e a energia de ativação da massa específica do azeite de oliva e estudar o efeito da temperatura sobre o coeficiente de expansão térmica desse material.

## METODOLOGIA

Equações do tipo Arrhenius permitem verificar o efeito da temperatura sobre um parâmetro físico-químico, além de permitir sua modelagem matemática (Tsen e King, 2002, p. 307; Giap, 2010, p. 30). A Equação (1) corresponde a uma equação do tipo Arrhenius e relaciona a massa específica ( $\rho$ ) com a temperatura absoluta ( $T$ ). Nessa equação, pode ser observada uma diminuição exponencial da massa específica com o aumento de temperatura (Tsen e King, 2002, p. 307; Canciam, Reis e Reis, 2017a, p. 86).

$$\rho = \rho_{\infty} \cdot \exp\left(\frac{E_a}{R \cdot T}\right) \quad (1)$$

Em que,  $\rho_{\infty}$  corresponde à massa específica quando a temperatura tende ao infinito (em  $\text{kg.m}^{-3}$ ),  $E_a$  representa a energia de ativação da massa específica (em  $\text{J.mol}^{-1}$ ) e  $R$  é a constante universal dos gases ideais (em  $\text{J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ).

Os valores de  $\rho_{\infty}$  e de  $E_a$  podem ser obtidos pelo método de linearização de curvas, proposto por Freund (2004, p. 422). Dessa forma, a Equação (1) pode ser reescrita na forma de:

$$\ln \rho = \ln \rho_{\infty} + \left(\frac{E_a}{R}\right) \cdot \frac{1}{T} \quad (2)$$

O coeficiente de expansão térmica ( $\beta$ ) indica a variação da massa específica devido à variação de temperatura, enquanto a pressão ( $P$ ) permanece constante, sendo definida como (Çengel e Cimbala, 2018, p. 45):

$$\beta = \left(-\frac{1}{\rho}\right) \cdot \left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right)_p \quad (3)$$

Considerando a Equação (1), a Equação (3) pode ser reescrita na forma de:

$$\beta = \frac{E_a}{R \cdot T^2} \quad (4)$$

Os dados experimentais da massa específica do azeite de oliva entre 313,15 e 373,15 K e pressão de 1 atm estão relacionados na Tabela 1.

As Equações (5), (6) e (7) fazem parte da análise de regressão linear simples dos dados de  $\ln \rho$  e  $\frac{1}{T}$ . Essas equações foram obtidas dos trabalhos de Triola (2015, p. 505) e Canciam, Reis e Reis (2017a, p. 87). O termo  $r^2$  corresponde ao coeficiente de determinação.

$$\frac{E_a}{R} = \frac{\left\{ n \cdot \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{T_i} \right) \cdot \ln \rho_i \right] - \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{T_i} \right) \right] \cdot \left[ \sum_{i=1}^n \ln \rho_i \right] \right\}}{\left\{ n \cdot \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{T_i} \right)^2 \right] - \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{T_i} \right) \right]^2 \right\}} \quad (5)$$

$$\ln \rho_\infty = \frac{\left\{ \left( \sum_{i=1}^n \ln \rho_i \right) - \left( \frac{E_a}{R} \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i} \right) \right\}}{n} \quad (6)$$

$$r^2 = \frac{\left\{ n \cdot \sum_{i=1}^n \left\{ \left( \frac{1}{T_i} \right) \cdot (\ln \rho_i) \right\} - \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{T_i} \right) \right] \cdot \left[ \sum_{i=1}^n \ln \rho_i \right] \right\}}{\left\{ \left[ \left[ n \cdot \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{T_i} \right)^2 \right] - \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{T_i} \right) \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[ \left[ n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln \rho_i)^2 \right] - \left[ \sum_{i=1}^n \ln \rho_i \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}} \quad (7)$$

**Tabela 1:** Massas específicas do azeite de oliva (em kg.m<sup>-3</sup>) em função das temperaturas.

Temperatura (K)	Massa específica (kg.m <sup>-3</sup> )
313,15	888,89
323,15	882,47
333,15	876,12
343,15	870,34
353,15	863,71
363,15	856,60
373,15	850,15

Fonte: Dikko (2015).



Com base na Tabela 1,  $n$  corresponde ao número de dados emparelhados, ou seja, igual a 7. Com o objetivo de classificar a correlação entre os dados de  $\ln \rho$  e  $\frac{1}{T}$ , foi adotada a escala de valores do módulo do coeficiente de determinação. Essa escala é indicada na Tabela 2.

Para a análise de regressão linear simples dos dados de  $\ln \rho$  e  $\frac{1}{T}$  do azeite de oliva foi realizada uma análise de variância (ANOVA), de acordo com Lapponi (2005, p. 385).

**Tabela 2:** Classificação e escala de valores do módulo do coeficiente de determinação.

Intervalo do módulo do coeficiente de determinação	Classificação da correlação
0 – 0,19	Bem fraca
0,20 - 0,39	Fraca
0,40 – 0,69	Moderada
0,70 – 0,89	Forte
0,90 - 1,0	Muito forte

Fonte: Santos e Pinto (2018).

O coeficiente de expansão térmica do azeite de oliva foi determinado a partir da Equação (4). Para tanto, o valor considerado para a constante universal dos gases ideais ( $R$ ) foi de 8,314 J.mol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> (Smith et al., 2018, p. 649).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos por meio das Equações (5), (6) e (7) estão indicados na Tabela 3. Pode-se observar nessa tabela, que o coeficiente de determinação está próximo da unidade e que o sinal positivo do coeficiente de determinação indica que houve um aumento de  $\ln \rho$  com o aumento do inverso da temperatura absoluta ( $\frac{1}{T}$ ).

**Tabela 3:** Resultados obtidos a partir da análise de regressão linear simples.

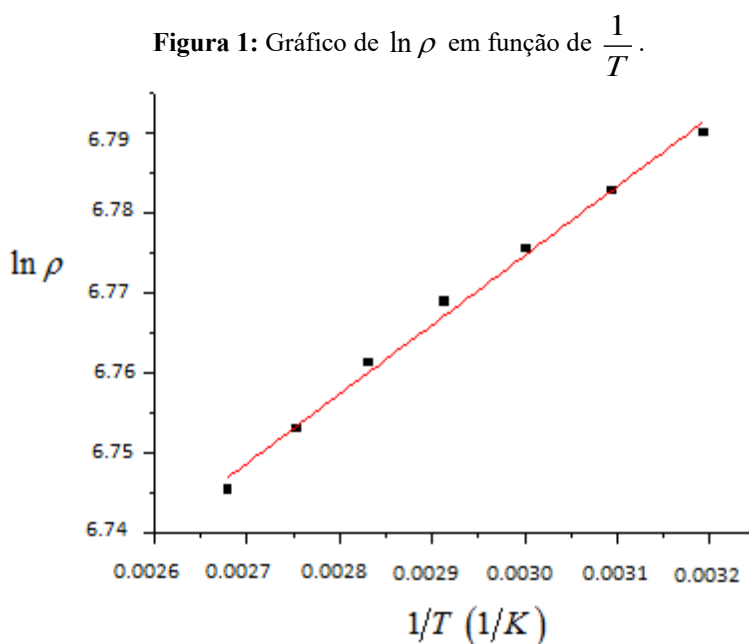
Parâmetro	Valor
$\frac{E_a}{R}$	86,3967 K
$\ln \rho_\infty$	6,5155
$r^2$	0,9929

Fonte: Autoria própria, 2022.

Com base na Tabela 2, a correlação entre  $\ln \rho$  e  $\frac{1}{T}$  pode ser classificada como muito forte, pois o módulo do coeficiente de determinação encontra-se entre 0,90 e 1,0. Santos e Pinto (2018, p. 159) salientam que no estudo do relacionamento entre duas variáveis, a definição da correlação é de suma importância para seu entendimento.

O coeficiente de determinação mede a interdependência linear entre as variáveis e avalia a qualidade do ajuste, ou seja, quanto mais próximo o coeficiente de determinação for da unidade, melhor o ajuste da reta em relação aos dados da dispersão. Por exemplo, se o coeficiente de determinação equivale a 0,99, isto corresponde que 99 % da variância dos dados podem ser explicados pelo modelo, enquanto que os outros 1 %, teoricamente, correspondem a uma variância residual (Triola, 2015, p. 504).

O gráfico de  $\ln \rho$  em função de  $\frac{1}{T}$  é ilustrado na Figura 1. Nesta figura, pode-se observar que à medida em que se aumentou o valor de  $\frac{1}{T}$ , aumentou-se o valor de  $\ln \rho$ . Este comportamento também foi observado nos trabalhos de Canciam, Reis e Reis (2016, p. 453) e de Canciam, Reis e Reis (2017b, p. 846). No trabalho de Canciam, Reis e Reis (2016, p. 450), foi estudada a influência da temperatura nas massas específicas da água e da água de coco. O efeito da temperatura na massa específica do óleo de cenoura foi estudado no trabalho de Canciam, Reis e Reis (2017b, p. 843).



Fonte: Autoria própria, 2022.

Com base na Tabela 3, o valor obtido para a energia de ativação da massa específica do azeite de oliva foi de  $718,3022 \text{ J.mol}^{-1}$  e o valor da massa específica quando a temperatura tende ao infinito foi de  $675,5316 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Valores da energia de ativação da massa específica de alguns materiais líquidos estão relacionados na Tabela 4. Pode-se observar nesta tabela, que o valor da energia de ativação da

massa específica do azeite de oliva está próximo ao valor encontrado para o biodiesel metílico de mamona.

**Tabela 4:** Energia de ativação da massa específica de alguns materiais.

Material	Energia de ativação da massa específica (J. mol <sup>-1</sup> )	Referência
Gema de ovo líquida	38,2669	Canciam (2015b, p. 50)
Solução aquosa de fenilhidrazina com fração molar de 0,10	301,72	Canciam (2014c, p. 701)
Água	309,256	Canciam, Reis e Reis (2017b, p. 847)
Leite de coco com 35 % de gordura	465,2049	Canciam (2015a, p. 502)
Biodiesel metílico de girassol	658,835	Canciam (2014a, p.157)
Biodiesel metílico de mamona	722,279	Canciam (2014a, p.157)
Óleo de cenoura	728,8809	Canciam, Reis e Reis (2016, p. 453)
Sebo bovino derretido	738,1128	Canciam, Reis e Reis (2017a, p. 89)
Biodiesel metílico de soja	738,607	Canciam (2014a, p.157)
Purê de banana com 80 °Brix	748,36	Tsen e King (2002, p. 307)
Oleato de metila	820,35	Canciam (2014b, p. 23)
Estearato de metila	831,35	Canciam (2014b, p. 23)
Purê de banana com 10 °Brix	1137,36	Tsen e King (2002, p. 307)

Fonte: Autoria própria, 2022.

Com base na Tabela 4, pode-se observar que a gema de ovo líquida apresentou o menor valor para a energia de ativação da massa específica. Canciam, Reis e Reis (2017a, p.84) comentam que a energia de ativação é um parâmetro que pode ser relacionado com a susceptibilidade térmica, de maneira que, materiais que apresentam baixos valores da energia de ativação são considerados menos susceptíveis à variação de temperatura. Dessa forma, a massa específica da gema de ovo líquida é menos susceptível à mudança de temperatura, enquanto que, a massa específica do purê de banana com 10 °Brix é mais susceptível à mudança de temperatura.

As massas específicas do biodiesel metílico de mamona em função das temperaturas estão relacionadas na Tabela 5.

**Tabela 5:** Massas específicas do biodiesel metílico de mamona (em  $\text{kg.m}^{-3}$ ) em função das temperaturas.

Temperatura (K)	Massa específica ( $\text{kg.m}^{-3}$ ) do biodiesel metílico de mamona
313,15	906,71
323,15	899,36
333,15	891,97
343,15	884,55
353,15	877,10
363,15	869,66
373,15	----

**Fonte:** Adaptado de Cavalcante (2010).

Comparando as Tabelas 1 e 5, pode-se observar que as massas específicas do biodiesel metílico de mamona são maiores em relação às massas específicas do azeite de oliva.

Os valores da variação percentual entre a massa específica do biodiesel metílico de mamona e a massa específica do azeite de oliva estão indicados na Tabela 6. Nessa tabela, pode-se observar que a variação percentual entre as massas específicas limita-se entre 1,52 e 2,00 %.

Considerando que a intensidade das interações entre as espécies que compõe o material interfere nos valores da massa específica (Chang e College, 2002, p. 424), os resultados sugerem que as intensidades das interações ocorridas no azeite de oliva e no biodiesel metílico de mamona são próximas, e dessa forma, apresentam uma pequena diferença nos valores das massas específicas.

**Tabela 6:** Valores da variação percentual entre as massas específicas do biodiesel metílico de mamona e do azeite de oliva em função das temperaturas.

Temperatura (K)	Variação percentual da massa específica do biodiesel metílico de mamona em relação à massa específica do azeite de oliva (%)
313,15	2,00
323,15	1,91
333,15	1,81
343,15	1,63
353,15	1,55
363,15	1,52
373,15	----

**Fonte:** Autoria própria, 2022.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) da análise de regressão linear simples dos dados de  $\ln \rho$  e  $\frac{1}{T}$  do azeite de oliva são listados na Tabela 7. Nessa tabela,  $GL$  e  $SQM$

correspondem, respectivamente, aos graus de liberdade e à soma dos quadrados médios.  $QM$  corresponde ao quadrado médio da ANOVA e  $F_{cal}$  corresponde ao valor de F calculado. O valor de  $p$  ( $p - value$ ) é incluído nesta tabela.

Pinheiro et al. (2009, p. 242) comentam que no modelo de regressão linear simples a função do teste de F é a de testar a significância do efeito de X sobre Y. Considerando um nível de significância de 5 %, o valor de F tabelado equivale 6,61. Na Tabela 7, o valor de F calculado é maior que o valor de F tabelado. Assim, os resultados da ANOVA sugerem que a regressão linear como um todo faz sentido. O valor de  $p$  varia entre zero e um. É assumido como valor crítico, valores menores ou iguais a 0,05. Dessa forma, 5 % de chance de erro é assumido como margem de segurança, ou 95 % de chance de estar certo. Na Tabela 7, pode-se observar que o valor de  $p$  é pequeno, sugerindo que a margem de segurança do erro também é pequena.

**Tabela 7:** ANOVA e valor de  $p$  para a análise de regressão linear simples.

Fonte de variação	$GL$	$SQM$	$QM$	$F_{cal}$	$p - value$
Regressão	1	0,0015	0,0015	842,3930	$9,0993.10^{-7}$
Resíduos	5	$9,0775.10^{-6}$	$1,8155.10^{-6}$		
Total	6	0,0015			

Fonte: Autoria própria, 2022.

Com a determinação da energia de ativação da massa específica, a Equação (4) pode ser reescrita na forma de:

$$\beta = \frac{86,3967}{T^2} \quad (8)$$

A partir da Equação (8), os valores do coeficiente de expansão térmica do azeite de oliva foram calculados. Estes valores estão indicados na Tabela 8.

**Tabela 8:** Valores do coeficiente de expansão térmica do azeite de oliva em função das temperaturas.

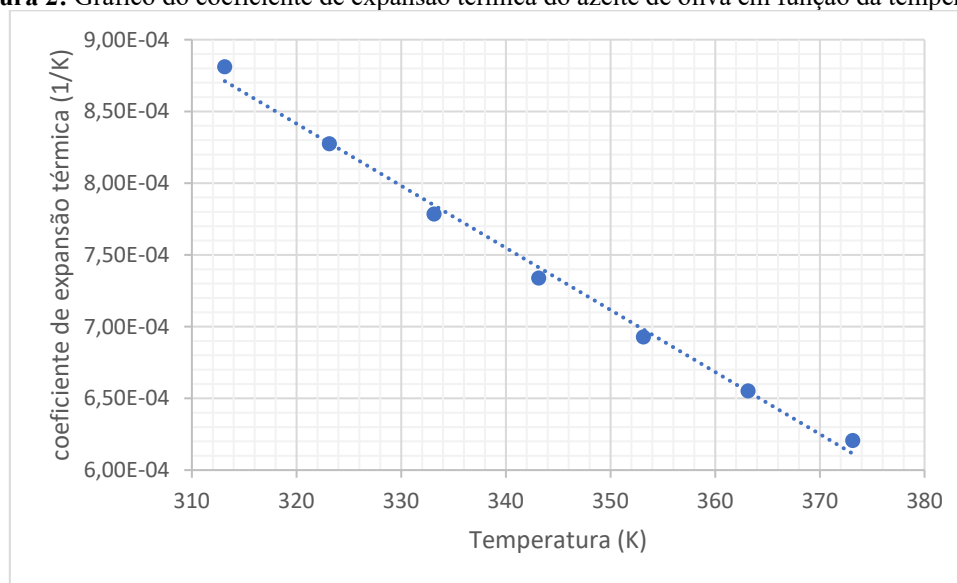
Temperatura (K)	Coeficiente de expansão térmica ( $K^{-1}$ )
313,15	$8,8103.10^{-4}$
323,15	$8,2735.10^{-4}$
333,15	$7,7843.10^{-4}$
343,15	$7,3372.10^{-4}$
353,15	$6,9275.10^{-4}$
363,15	$6,5513.10^{-4}$
373,15	$6,2048.10^{-4}$

Fonte: Autoria própria, 2022.

Com base na Tabela 8, o valor da variação percentual entre o coeficiente de expansão térmica na temperatura final ( $6,2048 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ ) e o coeficiente de expansão térmica na temperatura inicial ( $8,8103 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ ) corresponde a  $-29,57\%$ . Isto significa, que o valor do coeficiente de expansão térmica na temperatura final decresce de  $29,57\%$  do valor do coeficiente de expansão térmica na temperatura inicial.

Os dados indicados na Tabela 8 foram plotados. O gráfico obtido está ilustrado na Figura 2.

**Figura 2:** Gráfico do coeficiente de expansão térmica do azeite de oliva em função da temperatura.



**Fonte:** Autoria própria, 2022.

Na Figura 2, pode-se observar que o coeficiente de expansão térmica do azeite de oliva diminui com o aumento da temperatura, pois o coeficiente de determinação e o coeficiente angular da reta obtida são negativos, conforme as Equações (9) e (10).

$$\beta = (-4,3278 \cdot 10^{-6}) \cdot T + 2,2263 \cdot 10^{-3} \quad (9)$$

$$r^2 = -0,9971 \quad (10)$$

No trabalho de Pigsheng e Guoqing (2018, p. 290), foi observado que o coeficiente de expansão térmica da água entre  $-20$  e  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  diminui com o aumento da temperatura.

Com um coeficiente de determinação equivalente a  $-0,9971$ , a correlação entre o coeficiente de expansão térmica e a temperatura é classificada como muito forte, de acordo com a Tabela 2.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Empregando uma equação do tipo Arrhenius, o valor encontrado para a energia de ativação da massa específica do azeite de oliva foi de  $718,3022 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Comparando com outros valores dessa grandeza para outros materiais líquidos, este valor está próximo ao valor da energia de ativação da massa específica do biodiesel metílico de mamona.

A partir do valor da energia de ativação da massa específica, foi possível obter valores do coeficiente de expansão térmica em função da temperatura. Os valores obtidos para essa grandeza variam de  $6,2048\cdot 10^{-4}$  a  $8,8103\cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ . Os resultados sugerem que o coeficiente de expansão térmica do azeite de oliva diminui com o aumento da temperatura. Mesmo comportamento observado na água entre  $-20$  e  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . A correlação entre o coeficiente de expansão térmica e a temperatura foi classificada como muito forte.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. K. P.; NUNES, G. P.; TEIXEIRA, C. C. M.; RODRIGUES, D. P.; MELLO, J. R. Características físico-químicas de óleos vegetais utilizados para produção de biodiesel com metodologias alternativas simples. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 31, 2011, Belo Horizonte: Anais... Belo Horizonte: UFMG, 2011.

ALVARADO, J. D.; ROMERO, C. H. Physical properties of fruits: density and viscosity of juices as functions of soluble solids content and temperature. *Latin American Applied Research*, Buenos Aires, v.19, n. 15, p.15-21, 1989.

ARAUJO, L. A. Estudo das propriedades físicas, químicas e termofísicas de óleos regionais e suas misturas. Belém: UFPA, 2008. 127p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – UFPA, 2008.

BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S.; INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. LTC, Rio de Janeiro, 2014, p. 156-157.

CALLISTER JUNIOR, W. D.; RETHWISH, D. G. Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2016, p. 724-730.

CANCIAM, C. A. Influência da temperatura na massa específica de biodieseis metílicos de diferentes origens. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 6, n. 2, 2014a, p. 151-161.

CANCIAM, C. A. Efeito da temperatura na massa específica de ésteres metílicos de ácidos graxos. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 12, n. 1, 2014b, p. 17-27.

CANCIAM, C. A. Influência da temperatura na massa específica de soluções aquosas de fenilhidrazina. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 12, n. 2, 2014c, p. 695-705.

CANCIAM, C. A. Efeito da temperatura e do teor de gordura na massa específica do leite de coco. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 13, n. 1, 2015a, p. 498-505.

CANCIAM, C. A. Efeito da temperatura sobre a massa específica da gema de ovo líquida. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 7, n. 4, 2015b, p. 46-53.

CANCIAM, C. A.; REIS, F. S. M.; REIS, C. S. M. Efeito da temperatura sobre a massa específica do óleo de cenoura. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 14, n. 2, 2016, p. 450-455.

CANCIAM, C. A.; REIS, F. S. M.; REIS, C. S. M. Susceptibilidade da massa específica do sebo bovino derretido à variação de temperatura. *RETEC*, v. 10, n. 3, 2017a, p. 84-93.

CANCIAM, C. A.; REIS, F. S. M.; REIS, C. S. M. Influência da temperatura sobre as massas específicas da água e da água de coco. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 15, n. 2, 2017b, p. 843-850.

CARVALHO, A. C. O. Características físico-químicas de óleos vegetais comestíveis puros e adulterados. Campos dos Goytacazes: UENF, 2017. 79p. Monografia (Licenciatura em Química) – UENF, 2017.

CAVALCANTE, R. M. Predição da densidade de biodiesel proveniente de diferentes matérias-primas. Rio de Janeiro: UFRJ, 2010. 80p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – UFRJ, 2010.

CHANG, R.; COLLEGE, W. Química. McGraw-Hill, Cidade do México, 2002, p. 417-459.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. Fluid Mechanics: fundamentals and applications. McGraw-Hill Education, New York, 2018, p. 43-51.

DIKKO, A. B. Density and surface tension relationship of olive oil and carrot oil at different temperatures. *World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development*, v. 1, n. 2, 2015, p. 1-4.

FREUND, J. E. Estatística aplicada – Economia, Administração e Contabilidade. Artmed, Porto Alegre, 2004, p. 422-426.

GIAP, S. G. E. The hidden property of Arrhenius-type relationship: viscosity as a function of temperature. *Journal of Physical Science*, v. 21, n.1, 2010, p. 29-39.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2012, p. 189-191.


LAPPONI, J. C. Estatística usando Excel. Elsevier Editora, Rio de Janeiro, 2005, p. 385.

MAGERRAMOV, M. A.; ABDULAGATOV, A. I.; AZIZOV, N. D.; ABDULAGATOV, I. M. Pressure- and temperature-dependent density change of juices during concentration. *Food Bioprocess Technology*, n.1, 2008, p. 254-269.

PINGSHENG, W.; GUOQING, Z. Frost-heaving pressure in geotechnical engineering materials during freezing process. *International Journal of Mining Science and Technology*, v. 28, n. 2, 2018, p. 287-296.

PINHEIRO, J. I. D.; CUNHA, S. B.; CARVAJAL, S. R.; GOMES, G. C. Estatística básica: a arte de trabalhar com dados. Elsevier Editora, Rio de Janeiro, 2009, p. 239-245.





SANTOS, A. C. S.; PINTO, R. L. M. Aplicação da análise de correlação e regressão linear simples no setor sucroenergético brasileiro. *Exacta*, v. 16, n. 2, 2018, p. 155-167.

SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOTT, M. M.; SWIHART, M. T. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. McGraw Hill Education, New York, 2018, p. 649.

TONIN, A. P. P.; CARNEIRO, G. R.; RIBEIRO, M. A. S.; CEDRAN, J. C.; SILVA, V. M.; MEURER, E. C. Identificação de adulteração em óleos de oliva: problematizando a introdução a espectrometria de massas. *Química Nova*, v. 41, n. 9, 2018, p. 1089-1094.

TRIOLA, M. F. *Essentials of Statistics*. Editora Pearson, Boston, 2015, p. 480-518.

TSEN, J. H.; KING, V. A. E. Density of banana puree as a function of soluble solids concentration and temperature. *Journal of Food Engineering*, v. 55, n.4, 2002, p.305-308.

# CAPÍTULO 2

## INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA MASSA ESPECÍFICA E NO COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA DE SOLUÇÕES AQUOSAS DE ÁCIDO SULFÚRICO

César Augusto Canciam

### RESUMO

O consumo de ácido sulfúrico é considerado um dos indicadores de desenvolvimento industrial de um país. Comercializado normalmente em solução aquosa com concentração de 98 % (m/m), as soluções aquosas de ácido sulfúrico apresentam baixo custo e fácil acessibilidade para os processos químicos. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi estudar a influência da temperatura na massa específica e no coeficiente de expansão térmica de soluções aquosas de ácido sulfúrico em diferentes concentrações. Para tanto, foram utilizados dados da massa específica em função de temperatura disponíveis na literatura. As concentrações das soluções aquosas foram de 10, 30, 50, 70, 90 e 98 % (m/m) e o intervalo de temperatura foi de 10 a 60 °C. Nestas condições, constatou-se que com o aumento da temperatura, a massa específica diminuiu linearmente e o coeficiente de expansão térmica aumentou linearmente. A correlação para ambos foi classificada como muito forte.

**PALAVRAS-CHAVE:** efeito; temperatura; propriedades; ácido sulfúrico.

### INTRODUÇÃO

Propriedades como ponto de fusão, ponto de ebulição, módulo de elasticidade, tensão superficial, viscosidade, calor de vaporização, massa específica e coeficiente de expansão térmica são dependentes do tipo de interação química entre as espécies constituintes do material (Padilha, 2000, p. 293; Chang e College, 2002, p. 424).

Em geral, quando um material é aquecido suas dimensões aumentam. Esse processo de expansão térmica ocorre devido ao aumento do grau de agitação das espécies químicas. Expansão térmica é o termo usado para descrever a variação dimensional provocada nos materiais pela variação da temperatura (Richerson e Lee, 2018, p. 221).

Com o aquecimento, as espécies mais agitadas tendem a se afastar, levando a um aumento na distância entre elas. Esse maior espaçamento se manifesta por meio do aumento das dimensões do material (volume) (Chang e College, 2002, p.418; Halliday, Resnick e Walker, 2012, p.189). Como o volume e a massa específica são grandezas inversamente proporcionais, o aumento de volume implica em uma diminuição da massa específica. Assim, a massa específica reflete o grau de empacotamento das espécies químicas de um material (Chang e College, 2002, p. 424).

As propriedades coeficiente de expansão térmica, capacidade calorífica e condutividade térmica são consideradas como propriedades térmicas dos materiais, pois estão relacionados com a resposta ou a reação dos materiais à aplicação de calor (Callister Junior e Rethwisch, 2016, p. 724).

O coeficiente de expansão térmica está associado com a energia de interação química entre as espécies. Materiais em que as interações químicas são fortes apresentam baixos valores do coeficiente de expansão térmica. Isto porque, a expansão térmica está relacionada com a variação assimétrica da energia de interação e a distância entre as espécies. Com o aquecimento, as espécies químicas aumentam a frequência e a amplitude de vibração (estado excitado) e como as forças de repulsão são sempre maiores que as forças de atração, a distância entre as espécies também aumenta (Padilha, 2000, p. 293; Santos e Vieira, 2010, p. 107).

O coeficiente de expansão térmica ( $\beta$ ), também chamado de coeficiente de expansão volumétrica ou expansividade volumétrica, indica a variação do volume ( $V$ ) provocada pela variação da temperatura ( $T$ ), enquanto a pressão ( $P$ ) permanece constante, sendo definido como (Borgnakke e Sonntag, 2013, p. 509):

$$\beta = \left( \frac{1}{V} \right) \cdot \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \quad (1)$$

Como o volume e a massa específica ( $\rho$ ) são grandezas inversamente proporcionais, a Equação (1) pode ser reescrita como (Çengel e Cimbala, 2018, p. 45):

$$\beta = \left( -\frac{1}{\rho} \right) \cdot \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_P \quad (2)$$

O ácido sulfúrico apresenta-se como um líquido incolor, viscoso e pouco volátil. É um ácido mineral forte, extremamente solúvel em água em qualquer concentração. Quando diluído, ou seja, em concentrações abaixo de 90 % (m/m), assume caráter de ácido forte e não apresenta poder desidratante. Por outro lado, quando concentrado, isto é, em concentrações acima de 90 % (m/m), deixa de ter caráter ácido, acentuando-se seu poder desidratante (Vaitsman, Afonso e Dutra, 2011, p. 22).

O ácido sulfúrico é considerado um dos produtos mais importantes e mais utilizados na Indústria, apresentando baixo custo e fácil acessibilidade para vários processos químicos. É normalmente comercializado em solução aquosa com concentração de 98 % (m/m) (Ávila et al., 2014, p. 164).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi estudar a influência da temperatura na massa específica e no coeficiente de expansão térmica de soluções aquosas de ácido sulfúrico em diferentes concentrações.

## METODOLOGIA

As massas específicas em função da temperatura estão relacionadas nas Tabelas 1 e 2.

**Tabela 1:** Massas específicas (em  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) para as concentrações de 10, 30 e 50 % (m/m).

Temperatura (°C)	Concentração 10 % (m/m)	Concentração 30 % (m/m)	Concentração 50 % (m/m)
10	1,0700	1,2255	1,4029
15	1,0681	1,2220	1,3990
20	1,0661	1,2185	1,3951
25	1,0640	1,2150	1,3911
30	1,0617	1,2115	1,3872
40	1,0570	1,2046	1,3795
50	1,0517	1,1977	1,3719
60	1,0460	1,1909	1,3644

Fonte: Green e Southard (2019).

**Tabela 2:** Massas específicas (em  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) para as concentrações de 70, 90 e 98 % (m/m).

Temperatura (°C)	Concentração 70 % (m/m)	Concentração 90 % (m/m)	Concentração 98 % (m/m)
10	1,6198	1,8252	1,8463
15	1,6151	1,8198	1,8411
20	1,6105	1,8144	1,8361
25	1,6059	1,8091	1,8310
30	1,6014	1,8038	1,8261
40	1,5925	1,7933	1,8163
50	1,5838	1,7829	1,8068
60	1,5753	1,7729	1,7916

Fonte: Green e Southard (2019).

Para verificar a classificação da correlação entre a massa específica e a temperatura foi realizada uma Análise de Regressão Linear Simples (ARLS). A equação de regressão da massa específica em função da temperatura é indicada pela Equação (3). Esta equação foi adaptada do trabalho de Triola (2015, p. 504).

$$\rho = b_0 + (b_1 \cdot T) \quad (3)$$

Em que  $b_0$  e  $b_1$  correspondem, respectivamente, ao coeficiente linear e ao coeficiente angular da equação de regressão da massa específica em função da temperatura. A determinação desses termos e do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) foi realizada por meio da substituição dos valores indicados nas Tabelas 1 e 2 nas Equações de (4) a (16). Essas equações foram adaptadas

do trabalho de Triola (2015, p. 505). Nas Equações de (4) a (16), o valor de  $n$  corresponde a 8.

$$A = n \cdot \left( \sum_{i=1}^n T_i \cdot \rho_i \right) \quad (4)$$

$$B = \left( \sum_{i=1}^n T_i \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^n \rho_i \right) \quad (5)$$

$$C = n \cdot \left( \sum_{i=1}^n T_i^2 \right) \quad (6)$$

$$D = \left( \sum_{i=1}^n T_i \right)^2 \quad (7)$$

$$E = \left( \sum_{i=1}^n T_i^2 \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^n \rho_i \right) \quad (8)$$

$$F = \left( \sum_{i=1}^n T_i \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^n T_i \cdot \rho_i \right) \quad (9)$$

$$G = n \cdot \left( \sum_{i=1}^n \rho_i^2 \right) \quad (10)$$

$$H = \left( \sum_{i=1}^n \rho_i \right)^2 \quad (11)$$

$$Q = \sqrt{G - H} \quad (12)$$

$$W = \sqrt{C - D} \quad (13)$$

$$b_1 = \frac{(A - B)}{(C - D)} \quad (14)$$

$$b_0 = \frac{(E - F)}{(C - D)} \quad (15)$$

$$r^2 = \frac{(A - B)}{(Q \cdot W)} \quad (16)$$

Considerando as Equações (2) e (3), o coeficiente de expansão térmica é determinado por:

$$\beta = -\frac{b_1}{[b_0 + (b_1 \cdot T)]} \quad (17)$$

As Equações de (18) a (29) fazem parte da ARLS do coeficiente de expansão térmica em função da temperatura. Estas equações foram adaptadas do trabalho de Triola (2015, p. 505).

Os termos  $b_0^*$  e  $b_1^*$  correspondem, respectivamente, ao coeficiente linear e ao coeficiente angular da equação de regressão do coeficiente de expansão térmica em função da temperatura, indicada na Equação (18) e  $r_\beta^2$  corresponde ao coeficiente de determinação. O valor de  $n$  corresponde a 8.

$$\beta = b_0^* + (b_1^* \cdot T) \quad (18)$$

$$A^* = n \cdot \left( \sum_{i=1}^n T_i \cdot \beta_i \right) \quad (19)$$

$$B^* = \left( \sum_{i=1}^n T_i \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^n \beta_i \right) \quad (20)$$

$$C^* = n \cdot \left( \sum_{i=1}^n T_i^2 \right) \quad (21)$$

$$D^* = \left( \sum_{i=1}^n T_i \right)^2 \quad (22)$$

$$E^* = \left( \sum_{i=1}^n T_i^2 \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^n \beta_i \right) \quad (23)$$

$$F^* = \left( \sum_{i=1}^n T_i \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^n T_i \cdot \beta_i \right) \quad (24)$$

$$G^* = n \cdot \left( \sum_{i=1}^n \beta_i^2 \right) \quad (25)$$

$$H^* = \left( \sum_{i=1}^n \beta_i \right)^2 \quad (26)$$

$$b_1^* = \frac{(A^* - B^*)}{(C^* - D^*)} \quad (27)$$

$$b_0^* = \frac{(E^* - F^*)}{(C^* - D^*)} \quad (28)$$

$$r_{\beta}^2 = \frac{(A^* - B^*)}{(Q^* \cdot W^*)} \quad (29)$$

Para a classificação da correlação foi adotada a escala de valores do módulo do coeficiente de determinação, indicada na Tabela 3.

**Tabela 3:** Classificação e escala de valores do módulo do coeficiente de determinação.

Intervalo do módulo do coeficiente de determinação	Classificação da correlação
0 – 0,19	Bem fraca
0,20 - 0,39	Fraca
0,40 – 0,69	Moderada
0,70 – 0,89	Forte
0,90 - 1,0	Muito forte

Fonte: Santos e Pinto (2018).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pela ARLS da massa específica em função da temperatura estão relacionados nas Tabelas 4 e 5. Nessas tabelas, o sinal negativo para o coeficiente angular  $b_1$  e para o coeficiente de determinação  $r^2$  indica que houve uma diminuição da massa específica com a temperatura. Os resultados indicados nessas tabelas corroboram que com a expansão térmica ocorre uma diminuição da massa específica.

**Tabela 4:** Resultados da ARLS da massa específica em função da temperatura para concentrações de 10, 30 e 50 % (m/m).

Termos	Valores para a concentração de 10 % (m/m)	Valores para a concentração de 30 % (m/m)	Valores para a concentração de 50 % (m/m)
$b_0$	1,0755	1,2324	1,4105
$b_1$	- 4,7918.10 <sup>-4</sup>	- 6,9246.10 <sup>-4</sup>	- 7,7117.10 <sup>-4</sup>
$r^2$	- 0,9978	- 0,9999	- 0,9999

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 5:** Resultados da ARLS da massa específica em função da temperatura para concentrações de 70, 90 e 98 % (m/m)

Termos	Valores para a concentração de 70 % (m/m)	Valores para a concentração de 90 % (m/m)	Valores para a concentração de 98 % (m/m)
$b_0$	1,6284	1,8354	1,8556
$b_1$	- 8,9000.10 <sup>-4</sup>	- 1,0476.10 <sup>-3</sup>	- 9,7456.10 <sup>-4</sup>
$r^2$	- 0,9999	- 0,9999	- 0,9998

Fonte: Autoria própria.

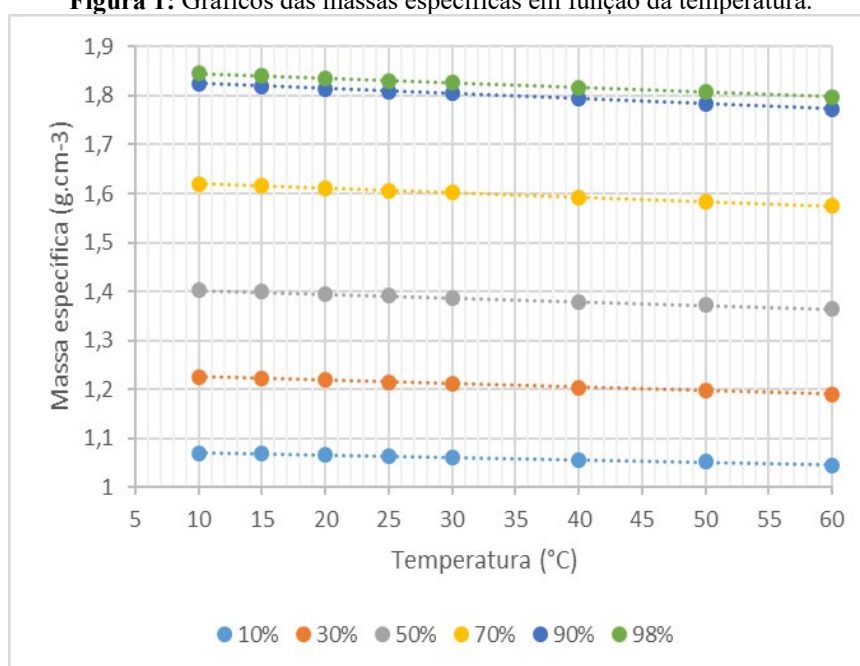
O coeficiente de determinação mede a interdependência linear entre as variáveis e avalia a qualidade do ajuste, ou seja, quanto mais próximo o coeficiente de determinação for da unidade, melhor o ajuste da reta em relação aos dados da dispersão (Triola, 2015, p. 504).

Com base na Tabela 3, a correlação da massa específica com a temperatura para todas as concentrações estudadas foi classificada como muito forte.

Santos e Pinto (2018, p. 159) salientam que no estudo do relacionamento entre duas variáveis, a definição de correlação é de suma importância para o entendimento.

Os gráficos das massas específicas *versus* a temperatura são ilustrados na Figura 1.

**Figura 1:** Gráficos das massas específicas em função da temperatura.



**Fonte:** Autoria própria.

Na Figura 1 pode-se observar que à medida em que se aumentou a concentração da solução aquosa de ácido sulfúrico, aumentou-se a massa específica, em todas as temperaturas estudadas. Mesmo comportamento foi observado nos trabalhos de Mata, Duarte e Zanini (2005, p.493), Zuritz et al. (2005, p. 146), Guedes, Ramos e Diniz (2010, p. 279), Teixeira, Oliveira e Ramos (2013, p. 279) e Medeiros et al. (2021, p. 4). Mata, Duarte e Zanini (2005, p. 488) avaliaram o efeito da temperatura e da concentração em polpas de cajá. Zuritz et al. (2005, p. 143) estudaram os efeitos da temperatura e da concentração de sólidos solúveis na massa específica, na viscosidade e no coeficiente de expansão térmica do suco clarificado de uva proveniente de Mendoza (Argentina). Guedes, Ramos e Diniz (2010, p. 279) avaliaram o efeito da temperatura e da concentração em polpas de melancia. Teixeira, Oliveira e Ramos (2013, p. 275) estudaram os efeitos da temperatura e da concentração nas propriedades físicas da polpa



de araquá-boi. Medeiros et al (2021, p. 1) estudaram a massa específica da polpa de tomate cereja em função da temperatura e da concentração de sólidos solúveis.

Os valores do coeficiente de expansão térmica estão relacionados nas Tabelas 6 e 7. O aumento de temperatura promove um maior distanciamento médio entre as espécies químicas do material. Com um maior distanciamento entre elas, a interação é menor. E dessa forma, ocorre um aumento do coeficiente de expansão térmica com a temperatura, como pode ser observado nas Tabelas 6 e 7.

Os gráficos dos valores do coeficiente de expansão térmica em função da temperatura são apresentados na Figura 2. Os pontos dos gráficos referentes às concentrações de 50 e de 70 % (m/m) estão muito próximos, o que dificultou sua visualização na Figura 2.

**Tabela 6:** Coeficientes de expansão térmica (em °C<sup>-1</sup>) para as concentrações de 10, 30 e 50 % (m/m).

Temperatura (°C)	Concentração 10 % (m/m)	Concentração 30 % (m/m)	Concentração 50 % (m/m)
10	4,4754.10 <sup>-4</sup>	5,6505.10 <sup>-4</sup>	5,4974.10 <sup>-4</sup>
15	4,4854.10 <sup>-4</sup>	5,6666.10 <sup>-4</sup>	5,5126.10 <sup>-4</sup>
20	4,4955.10 <sup>-4</sup>	5,6827.10 <sup>-4</sup>	5,5278.10 <sup>-4</sup>
25	4,5056.10 <sup>-4</sup>	5,6988.10 <sup>-4</sup>	5,5431.10 <sup>-4</sup>
30	4,5158.10 <sup>-4</sup>	5,7151.10 <sup>-4</sup>	5,5585.10 <sup>-4</sup>
40	4,5363.10 <sup>-4</sup>	5,7480.10 <sup>-4</sup>	5,5896.10 <sup>-4</sup>
50	4,5569.10 <sup>-4</sup>	5,7812.10 <sup>-4</sup>	5,6210.10 <sup>-4</sup>
60	4,5778.10 <sup>-4</sup>	5,8148.10 <sup>-4</sup>	5,6528.10 <sup>-4</sup>

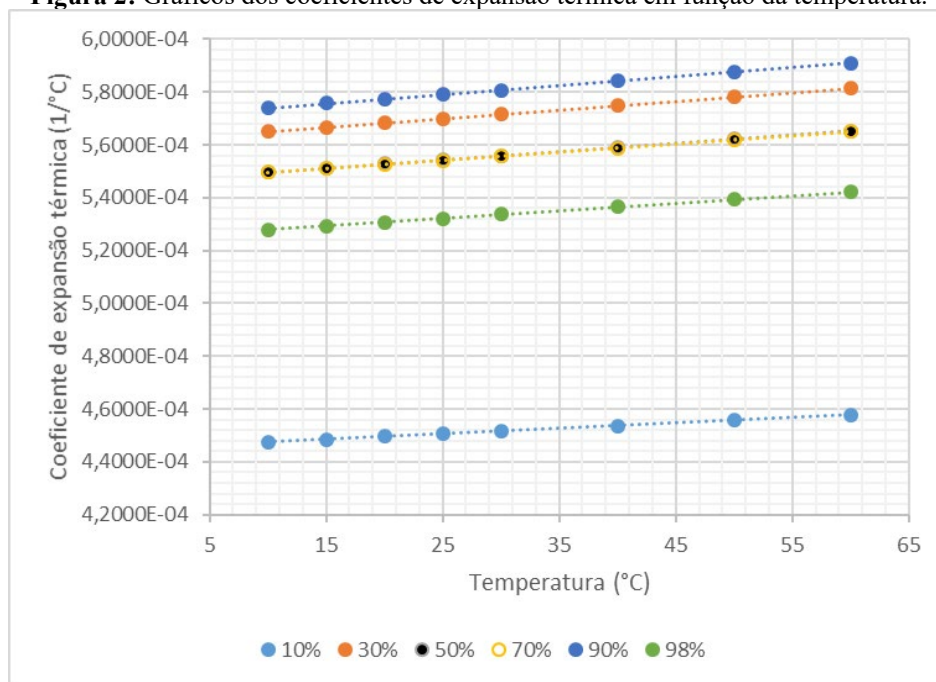
Fonte: Autoria própria.

**Tabela 7:** Coeficientes de expansão térmica (em °C<sup>-1</sup>) para as concentrações de 70, 90 e 98 % (m/m).

Temperatura (°C)	Concentração 70 % (m/m)	Concentração 90 % (m/m)	Concentração 98 % (m/m)
10	5,4955.10 <sup>-4</sup>	5,7405.10 <sup>-4</sup>	5,2797.10 <sup>-4</sup>
15	5,5107.10 <sup>-4</sup>	5,7570.10 <sup>-4</sup>	5,2937.10 <sup>-4</sup>
20	5,5259.10 <sup>-4</sup>	5,7737.10 <sup>-4</sup>	5,3077.10 <sup>-4</sup>
25	5,5412.10 <sup>-4</sup>	5,7904.10 <sup>-4</sup>	5,3219.10 <sup>-4</sup>
30	5,5566.10 <sup>-4</sup>	5,8072.10 <sup>-4</sup>	5,3361.10 <sup>-4</sup>
40	5,5876.10 <sup>-4</sup>	5,8411.10 <sup>-4</sup>	5,3647.10 <sup>-4</sup>
50	5,6190.10 <sup>-4</sup>	5,8754.10 <sup>-4</sup>	5,3936.10 <sup>-4</sup>
60	5,6508.10 <sup>-4</sup>	5,9101.10 <sup>-4</sup>	5,4229.10 <sup>-4</sup>

Fonte: Autoria própria.

**Figura 2:** Gráficos dos coeficientes de expansão térmica em função da temperatura.



Fonte: Autoria própria.

Os resultados obtidos para a ARLS do coeficiente de expansão térmica em função da temperatura estão relacionados nas Tabelas 8 e 9. O sinal positivo para o coeficiente angular  $b_1^*$  e para o coeficiente de determinação  $r_\beta^2$  indica que houve um aumento do coeficiente de expansão térmica com a temperatura.

**Tabela 8:** Resultados da ARLS do coeficiente de expansão térmica em função da temperatura para concentrações de 10, 30 e 50 % (m/m).

Termos	Valores para a concentração de 10 % (m/m)	Valores para a concentração de 30 % (m/m)	Valores para a concentração de 50 % (m/m)
$b_0^*$	$4,4546.10^{-4}$	$5,6161.10^{-4}$	$5,4658.10^{-4}$
$b_1^*$	$2,0478.10^{-7}$	$3,3443.10^{-7}$	$3,1069.10^{-7}$
$r_\beta^2$	0,9999	0,9986	0,9999

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 9:** Resultados da ARLS do coeficiente de expansão térmica em função da temperatura para concentrações de 70, 90 e 98 % (m/m).

Termos	Valores para a concentração de 70 % (m/m)	Valores para a concentração de 90 % (m/m)	Valores para a concentração de 98 % (m/m)
$b_0^*$	$5,4639.10^{-4}$	$5,7059.10^{-4}$	$5,2506.10^{-4}$
$b_1^*$	$3,1043.10^{-7}$	$3,3912.10^{-7}$	$2,8630.10^{-7}$
$r_\beta^2$	0,9999	0,9999	0,9999

Fonte: Autoria própria.

Pode-se observar nas Tabelas 8 e 9, que assim como a massa específica em função da temperatura, o coeficiente de determinação da ARLS do coeficiente de expansão térmica com a temperatura foi classificado como muito forte.

Na literatura pesquisada, não foram encontrados valores do coeficiente de expansão térmica de soluções aquosas de ácido sulfúrico. Uma modelagem matemática do coeficiente de expansão térmica do ácido sulfúrico com a temperatura é apresentada no trabalho de Yaws (1999, p. 639), válida para valores de temperatura entre 283,46 e 345,52 K (10,31 e 72,37 °C).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas concentrações estudadas, os resultados sugeriram que a massa específica diminuiu linearmente e o coeficiente de expansão térmica aumentou linearmente com o aumento de temperatura.

As Análises de Regressão Linear Simples para a massa específica e para o coeficiente de expansão térmica em função da temperatura sugeriram que existe uma interdependência linear entre as variáveis, com uma correlação classificada como muito forte.

## REFERÊNCIAS

ÁVILA, S. G.; CARDOSO, E. F.; VASCONCELOS, S. M.; PEREIRA, A. C. A.; SOTELO, A. F. Recuperação de gases residuais de enxofre(s) e reaproveitamento como matéria prima na síntese de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, v. 18, n. 4, 2014, p. 163-172.

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R. E. *Fundamentos da Termodinâmica*. Editora Blücher, São Paulo, 2013, p. 499-527.

CALLISTER JUNIOR, W. D.; RETHWISH, D. G. *Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução*. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2016, p. 724-730.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. *Fluid Mechanics: fundamentals and applications*. McGraw-Hill Education, New York, 2018, p. 43-51.

CHANG, R.; COLLEGE, W. *Química*. McGraw-Hill, Cidade do México, 2002, p. 417-459.

GREEN, D. W.; SOUTHARD, M. Z. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. McGraw-Hill Education, New York, 2019, p. 2-104 a 2-105.

GUEDES, D. B.; RAMOS, A. M.; DINIZ, M. D. M. S. Efeito da temperatura e da concentração nas propriedades físicas da polpa de melancia. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 13, n. 4, 2010, p. 279-285.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2012, p. 189-191.

MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M.; ZANINI, H. L. H. T. Calor específico e densidade da polpa de cajá (*Spondias lutea* L.) com diferentes concentrações de sólidos solúveis sob baixas temperaturas. Engenharia Agrícola, v. 25, n. 2, 2005, p. 488-498.

MEDEIROS, A. C. M.; RAMALHO, G. I. C.; LINHARES, L. L. F.; OLIVEIRA, R. G. M.; MELO, J. C. S.; MAIA, J.; BADARÓ, A. D. S.; COSTA, C. H. C.; LIMA, F. C. S. Predição da massa específica do tomate cereja e do coeficiente de expansão térmica. Research, Society and Development, v. 10, n. 12, 2021, p. 1-7.

PADILHA, A. F. Materiais de Engenharia: microestrutura e propriedades. Hemus, Curitiba, 2000, p. 289-293.

RICHERSON, D. W.; LEE, W. E. Modern Ceramic Engineering: properties, processing, and use in design. CRC Press, Boca Raton, 2018, p. 203-230.

SANTOS, A. C. S.; PINTO, R. L. M. Aplicação da análise de correlação e regressão linear simples no setor sucroenergético brasileiro. Exacta, v. 16, n. 2, 2018, p. 155-167.

SANTOS, D. Q.; VIEIRA, D. F.; Determinação de coeficiente de expansão térmica do biodiesel e seus impactos no sistema de medição volumétrico. Eclética Química, v. 35, n. 4, 2010, p. 107-112.

TEIXEIRA, T. R.; OLIVEIRA, A. N.; RAMOS, A. M. Efeitos da temperatura e concentração nas propriedades físicas da polpa de araçá-boi. Boletim do CEPPA, v. 31, 2013, p. 275-284

TRIOLA, M. F. Essentials of Statistics. Editora Pearson, Boston, 2015, p. 480-518.

VAITSMAN, D. S.; AFONSO, J. C.; DUTRA, P. B. Para que servem os elementos químicos. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2011, p. 20-29.

YAWS, C. L. Chemical Properties Handbook: physical, thermodynamic, environmental, transport, safety, and health related properties for organic and inorganic chemicals. Editora McGraw-Hill, New York, 1999, p. 616-642.

ZURITZ, C. A.; MUÑOZ PUNTES, E.; MATHEY, H. H.; PÉREZ, E. H.; GASCÓN, L. A.; CARULLO, C. A.; CHERNIKOFF, R. E.; CABEZA, M. S. Density, viscosity and coefficient of thermal expansion of clear grape juice at different soluble solid concentrations and temperatures. Journal of Food Engineering, n. 71, 2005, p. 143-149.

# CAPÍTULO 3

## ARQUITETURA, MÍDIA E TECNOLOGIA: PROJETANDO PARA O MUNDO DIGITAL

**Isadora de Almeida Frutuoso  
Francisco Machado Filho**

### RESUMO


A arquitetura e a tecnologia se unem para transformar os espaços em que vivemos em espaços híbridos, espaços conectados e que transformam completamente nossa percepção e nossa experiência ao utilizá-los. Cada vez mais têm se falado na união entre os espaços físicos e os espaços virtuais, termos como metaverso, interatividade e Web 3.0, estão cada vez mais populares. O presente capítulo tem como objetivo apresentar as possibilidades de criação nesses novos espaços híbridos, espaços onde a tecnologia, a mídia e a arquitetura se misturam e criam ambientes novos e inesperados. Através da realidade virtual, sensores, realidade aumentada e de aplicativos, são apresentadas algumas possibilidades de mediação do espaço, com exemplos de como a tecnologia está modificando nossos espaços físicos e nossa forma de vivenciarmos esses espaços.

**PALAVRAS-CHAVE:** arquitetura interativa, metaverso, mídia e tecnologia.

### INTRODUÇÃO

Em todas as áreas do conhecimento, podemos dizer que a tecnologia está transformando nosso modo de criar e se organizar, e a sociedade contemporânea exige constante mudança e criatividade para resolver problemas cada vez mais complexos. Conforme a sociedade muda, a tecnologia também está transformando a forma que a sociedade vive e lida com os problemas contemporâneos. Segundo Baltazar (2001), as relações sociais e a sociedade foram profundamente alteradas pelos impactos das diferentes formas de tecnologia digital.

Pode-se dizer que o modo como lidamos com as informações e com os diferentes veículos de comunicação transformam constantemente nossa sociedade, temos informações cada vez mais rápido nas nossas mãos e nossas fronteiras e percepções de mundo também mudaram. Apenas com um clique na tela do celular conseguimos saber o que está acontecendo do outro lado do mundo em tempo real, conseguimos perceber o mundo e o ambiente ao nosso redor através de outras perspectivas. Além disso, a forma de lidar com nossos problemas e a forma com que nos organizamos como sociedade em diferentes áreas do conhecimento também mudou.



Assim como nas outras áreas, com a arquitetura não é diferente, desde a invenção do computador, o processo criativo e modo de fazer arquitetura tem mudado muito ao longo dos anos. Se antes projetávamos com o uso do lápis e do papel, hoje em dia os escritórios de arquitetura são repletos de computadores com inúmeros softwares diferentes, além de máquinas de corte e impressoras 3Ds.


Segundo Requena (2019), desde o início do uso da modelagem digital, como o CAD (computer aided design ou design assistido por computador), a expansão do design digital está trazendo mudanças significativas no processo projetual da arquitetura, elevando a concepção arquitetônica a níveis nunca antes imaginados. Desde os últimos anos, a tecnologia vem sendo usada na arquitetura de diferentes formas e em diferentes etapas do projeto arquitetônico, o uso do computador, da mídia e da tecnologia é feito tanto na etapa da concepção do projeto como também na obra finalizada, com edifícios interativos e sensores.

Para a definição de edifícios interativos e arquitetura interativa, podemos usar a definição de Fox (2009) que coloca arquitetura interativa como sendo arquitetura que é projetada misturando o uso da computação com o mundo físico, e que é projetada para responder, se adaptar, e mudar conforme os dados recebidos, e evoluir de forma que os usuários também possam participar do processo de design. Ainda segundo Fox (2009):

Filosoficamente, a arquitetura interativa está em uma posição única para reposicionar o papel do designer. Esse papel deve ser menos sobre a criação de um projeto finalizado e mais sobre a catálise – sobre perguntar como um projeto pode evoluir. De certa forma, projetar arquitetura interativa deve ser um esforço emergente e sem ego, que consiste em projetar a plataforma para o futuro, não o próprio futuro. Tal posição é nobre e profunda, pois significa que o designer deve entender as pessoas bem o suficiente para poder projetar para elas, mas também projetar interfaces e ferramentas para que as pessoas possam se tornar designers. O que tornou o smartphone onipresente tão poderoso não é que ele seja um dispositivo conectado, mas uma plataforma para a criação de aplicativos. Tornou-se um catalisador para design e ideias que nunca foram planejadas<sup>1</sup> (FOX, 2009, p.148, “tradução nossa”)

---

<sup>1</sup> Philosophically, interactive architecture is in a unique position to reposition the role of the designer. This role should be less about creating a finished design and more about catalyzing— about asking how a design may evolve. In a sense, designing interactive architecture should be an egoless, emergent endeavor that lies in designing the platform for the future, not the future itself. Such a position is both noble and profound, for it means the designer must understand people well enough to be able to design for them yet also design interfaces and tools such that people can in turn become designers. What has made the ubiquitous smartphone so powerful is not that it is a connected device, but that it is a platform for the creation of applications. It has become a catalyst for design and ideas that were never intended. (FOX, 2009, p.148)




Além disso, pode-se dizer que a influência da tecnologia nos espaços que vivemos é cada vez mais presente. Nossa percepção sobre espaços físicos e espaços virtuais mudou de tal forma que um se tornou continuação do outro. Por “virtual”, aqui, entenderemos como explica Levy (1996), onde o real e o virtual não são opostos, são apenas diferentes de ser. Levy argumenta que o virtual se opõe ao atual, sendo algo imprevisível:

Contrariamente ao possível, estático e já constituído, o virtual é como o complexo problemático, o nó de tendências ou de forças que acompanha uma situação, um acontecimento, um objeto ou uma entidade qualquer, e que chama um processo de resolução: a atualização (Lévy, 1996, p.5).

Assim, segundo Levy, o virtual é um dos principais vetores da criação da realidade, a atualização de algo que poderá vir a ser.

Segundo Requena (2019) a tecnologia segue um caminho em que se mistura com o ambiente e não conseguimos mais discernir onde ela começa e onde termina, transformando nosso ambiente físico em um ambiente híbrido (concreto + virtual), formando uma realidade ampliada. Ainda segundo Requena (2019) o resultado dessa união entre arquitetura e tecnologia são espaços híbridos, ampliados e interconectados. Podemos dizer que esses edifícios e espaços híbridos estão mudando a forma como a sociedade utiliza os espaços físicos, se antes pensávamos na arquitetura como estática, permanente e imutável, hoje podemos explorar espaços flexíveis, efêmeros e de múltiplos usos. Essa arquitetura multimídia e híbrida pode ser explorada através do uso da tecnologia e da mídia. Podemos observar que o uso das tecnologias de realidade aumentada e realidade virtual, por exemplo, passam a ser cada vez mais utilizadas no nosso dia a dia, essa realidade híbrida está deixando de ser apenas parte de um futuro utópico e distante e está fazendo parte das redes sociais e sendo explorada de diferentes formas.

As grandes empresas que investem em tecnologia estão começando a explorar as novas possibilidades de interação entre nós, nossos dispositivos e as mídias interativas. Conceitos como ciberespaço e metaverso (que serão abordados futuramente) não são novos, mas estão sendo aplicados em nossa realidade atual. Em novembro de 2021, Mark Zuckerberg, CEO do Facebook, anunciou que sua empresa passaria se chamar Meta, em referência a palavra Metaverso. Além dele, a Microsoft, a Roblox e o Snapchat são empresas que estão com grandes investimentos nesse novo universo que une a tecnologia interativa e as relações humanas.



Principalmente agora, com a pandemia de COVID-19, onde as pessoas foram obrigadas a ficar em suas casas, conseguimos ver o quanto somos afetados pelos ambientes a nossa volta e o quanto o espaço em que vivemos nos afeta psicologicamente e fisicamente. Paramos para refletir sobre os espaços do nosso dia a dia e também sobre como a tecnologia nos ajudou em muitas situações durante a pandemia, como por exemplo com as aulas online e o trabalho remoto. Principalmente agora, podemos refletir sobre como os espaços estão se alterando, os escritórios estão se modificando para mesclar o trabalho remoto com o presencial, as escolas, e os espaços culturais.

É possível, através da tecnologia, explorar diferentes configurações espaciais com o uso de diferentes softwares e incentivar diferentes ocupações e usos para esses novos espaços. Os espaços culturais, são um exemplo de espaços que podem ser explorados de inúmeras formas e a tecnologia e a mídia são grandes aliadas. Por serem espaços onde acontecem exposições artísticas, intervenções e interações entre pessoas, as possibilidades de midiatização de espaços culturais são inúmeras.

Sendo assim, este artigo busca apresentar o cenário e as possibilidades futuras da interação entre a arquitetura e a tecnologia, como a tecnologia poderá transformar os espaços culturais e híbridos no futuro.


## **DO CONCRETO AO VIRTUAL**

### **Espaços culturais da era digital**

Pode-se dizer que as mudanças proporcionadas pela tecnologia se refletem em todas as camadas da sociedade contemporânea. Sejam nas tarefas do dia a dia, no trabalho, ou no lazer, nossa interação com as novas mídias passou a ser natural e a fazer parte das nossas relações sociais. Para definição de novas mídias, podemos citar Manovich (2005) onde define as novas mídias como sendo os meios pelos quais a tecnologia computacional é distribuída e exposta, como por exemplo a internet, os sites, os jogos de computador, a realidade virtual e também os efeitos especiais. Ou seja, as novas mídias são os veículos pelos quais são transmitidas as informações digitais.

A inserção das novas mídias nos espaços físicos já são uma realidade, e a arquitetura e o design se apropriam das ferramentas digitais para explorar as inúmeras possibilidades proporcionadas por elas. Os espaços culturais, museus, e exposições são áreas com grande potencial de uso da interatividade. Consideraremos aqui, os espaços culturais como sendo






espaços destinados ao lazer e a difusão de arte de qualquer tipo, espaços para a integração da comunidade.

Os conceitos da tecnologia e da arquitetura juntas não são novos, o arquiteto Cedric Price (1934-2003) idealizou alguns projetos onde a interação das pessoas com o edifício era parte essencial do projeto. Um dos projetos mais famosos de Price, o *The Fun Palace* (1959), foi criado para ser um edifício interativo e adaptável (Figura 01). É um projeto criado para promover o lazer da população e, embora nunca tenha sido executado, foi pensado para ser construído e encaixar em qualquer terreno. O projeto do Fun Palace funciona como uma máquina, e foi pensado para ser “um laboratório de diversão”. Sua estrutura possuiria uma malha de metal que poderia ser completamente flexível, onde teriam salas de dança, passarelas, pisos e paredes móveis e sensores que controlariam o prédio e promoveriam sua transformação constante, assim o edifício seria sempre diferente e divertido. Em um artigo sobre o *The Fun Palace*, Hernández (2015) discorre sobre o Fun Palace dizendo que foi um edifício pensado para usar a tecnologia que já existia nos anos setenta e era usada nas indústrias navais e aeronáutica. Ainda segundo Hernandez, o projeto era um sistema cibernético e tinha o objetivo de encantar os usuários, permitindo mudar ao longo do tempo e receber respostas do público, sendo desenvolvido diferente de um projeto de arquitetura tradicional, e mais parecido com um projeto tecnológico.

Outro projeto de Price importante a ser mencionado é o *The Generator* (1976). O Generator foi uma proposta de projeto para a empresa Gilman Corporation, para o projeto foi desenvolvido um programa de computador para organizar o layout do terreno, também foi sugerido que cada parte da construção teria um microchip para fazer parte do sistema de controle.

O projeto é composto por um complexo reconfigurável de 150 cubos subdivididos em módulos, esses módulos formam uma malha e podem ser reorganizados conforme as atividades propostas. Telas e passarelas foram adicionadas nos cubos, e também podem ser movidas e reorganizadas. Ainda sobre o Generator, Hernández (2015) diz que foi publicado como sendo o primeiro edifício inteligente e o primeiro projeto que precisamente se trata de um edifício dinâmico capaz de interagir com seus usuários.

Os dois projetos de Price são exemplos de como a ideia da união entre a arquitetura com a tecnologia não é uma novidade. Em ambos os projetos, o objetivo é a interação das pessoas com o edifício, sendo espaços de lazer pensados para divertir e entreter os usuários.



Price idealizou os projetos com a tecnologia disponível até então e são projetos que, embora nunca construídos, servem de referência quando começamos a estudar o assunto. A tecnologia disponível mudou muito durante todos esses anos, porém os estudos na área ainda são muito recentes. São escassos os projetos de arquitetura construídos, que buscam realmente essa interação entre usuário e edifício como um todo, com um projeto realmente pensado para ser interativo e que proporcione ao usuário uma experiência imersiva em um ambiente híbrido que integre arquitetura e tecnologias interativas.

O projeto MEET Digital Arts Center, projetado pelo arquiteto Carlo Ratti, foi pensado para investigar o significado dos espaços físicos em um mundo que é cada vez mais digitalizado. Para isso, seu design foi pensado com funções híbridas e multifuncionais, ou seja, cada espaço pode simultaneamente servir para diferentes funções. Além disso, o edifício possui salas que podem ser usadas para exposições, palestras e performances (ARCHDAILY, 2020).


A parte central do prédio possui escadas em zigue-zague, essas escadas conectam o edifício e funcionam como uma praça vertical, servem como ponto de encontro entre os transeuntes e podem se transformar também em um teatro ou café. O edifício e a praça vertical possuem um sistema de projeções multimídia e telas espalhadas, que incentivam intervenções artísticas e performances. Esse sistema de projeções espalhado pelo edifício proporciona aos usuários interações inesperadas entre as pessoas e o edifício, e pelas entre as pessoas entre si. A ideia é que o edifício seja ele próprio o mediador para transmitir cultura aos usuários.

Este projeto é um exemplo de como a tecnologia está influenciando os novos espaços. Segundo Scott Fisher, citado por Michael Fox em seu livro *Interactive Architecture*:

O número crescente de tecnologias de computação onipresentes e integradas apresenta um novo paradigma de como interagimos com o ambiente construído, enquanto dispositivos móveis e abrangentes oferecem novas possibilidades de detecção e comunicação com edifícios e objetos no mundo físico. Essas tecnologias não são usadas apenas para coletar e fornecer dados, mas também como uma forma de animar e aumentar coletivamente o mundo ao redor de nós. (apud FOX, 2009, p.12 tradução nossa) <sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> No original: The growing number of ubiquitous and embedded computing technologies introduces a new paradigm for how we interact with the built environment, while mobile and pervasive devices offer new possibilities for sensing and communicating with buildings and objects in the physical world. These technologies are used not only for collecting and providing data, but also as a way to animate and collectively augment the world around us.”




A tecnologia nos permite novas possibilidades de experimentar os espaços físicos, através dela, os objetos e dispositivos podem comunicar-se entre si coletando e transmitindo dados para transformar e melhorar nossa experiência de inúmeras formas diferentes. Dessa forma podemos criar espaços de outras maneiras e repensar nos espaços como sendo lugares híbridos, onde a tecnologia e a arquitetura são mescladas a ponto de naturalmente não sabermos mais distinguir o mundo concreto separado do mundo virtual. Assim como os projetos de Price, o projeto do MEET Digital Arts Center busca conectar as pessoas através da tecnologia, usando diferentes formas de interação para proporcionar espaços flexíveis e integrados.

A tecnologia e a mídia podem ser aplicadas nos espaços de diferentes formas, e nos espaços culturais as possibilidades de aplicação são infinitas. Por serem locais que promovem e incentivam a arte, é possível realizar diferentes experimentações e interações entre os usuários e o edifício. Telas sensíveis ao toque, hologramas, sensores, aplicativos para dispositivos móveis, realidade aumentada, são apenas algumas ferramentas que podem ser exploradas para tornar os espaços interativos.

## **METAVERSO E NOVOS ESPAÇOS VIRTUAIS**

Escrever sobre as possibilidades do metaverso e espaços virtuais é uma tarefa um tanto desafiadora, por ser um assunto que está, principalmente agora, em constante desenvolvimento prático, e onde a maior parte desse mundo ainda está sendo construído, as publicações sobre o tema são ainda escassas e as especulações são grandes. Segundo o artigo *A Survey on Metaverse: the State-of-the-art, Technologies, Applications, and Challenges* (2021), foram mapeadas as publicações que mencionam o termo “metaverso” na base de dados da Web of Science (base de dados multidisciplinar) e até a data de novembro de 2021, a data do artigo, existiam pouco mais de 200 publicações sobre o tema, sendo a grande maioria publicada no ano de 2021. O termo “metaverso”, surgiu pela primeira vez no livro de ficção científica “Snow Crash” do ano de 1992, do autor Neal Stephenson e a primeira publicação sobre o tema foi feita em 1998. Assim como a palavra “ciberespaço”, que surgiu pela primeira vez também em um livro de ficção científica, “Neuromancer”, escrito em 1984 por William Gibson. Sobre o termo “ciberespaço”, Levy (1997):

...é o novo meio de comunicação que surge da interconexão mundial dos computadores. O termo especifica não apenas a infra-estrutura material da comunicação digital, mas também o universo oceânico de informações que ela abriga, assim como os seres humanos que navegam e alimentam esse universo. (LEVY, 1997, p.17).




Ambas as palavras são usadas para descrever mundos virtuais, espaços criados virtualmente. Ou seja, espaços compartilhados onde as experiências acontecem dentro do mundo virtual.

Segundo Ning e col. (2021), o metaverso é um novo tipo de aplicação da internet e uma forma social de integrar diferentes novas tecnologias. Providenciando uma experiência imersiva através da realidade virtual e criando uma cópia virtual do mundo físico, integrando um sistema econômico baseado na tecnologia blockchain e permitindo que cada usuário produza conteúdo e edite seu próprio universo. O metaverso utiliza a tecnologia da realidade virtual para transformar o mundo físico em outra realidade, geralmente utilizando óculos de realidade virtual ou simplesmente acessando através do computador ou celular. Esse tipo de tecnologia já existe em vários games, onde o jogador coloca seus óculos e se transporta para outra realidade. Dessa forma tudo que o jogador enxerga através dos óculos ou da tela foi criado virtualmente através de softwares 3D. Filmes como Matrix (1999) e Jogador Nº 1, são exemplos de narrativas que exploraram essa outra realidade. Embora o termo metaverso não seja um conceito novo, com a evolução das novas mídias, da internet e da tecnologia atual, é um conceito que agora, mais nunca, pode começar a se tornar realidade. Durante a produção deste trabalho, em outubro de 2021, Mark Zuckerberg, CEO do Facebook, anunciou que sua empresa mudaria de nome e passaria a se chamar Meta. Em seu vídeo de lançamento, Zuckerberg explica que a razão pela qual decidiu mudar sua empresa de nome foi uma referência ao metaverso.

Zuckerberg explica como funcionaria o metaverso, dizendo que a partir do momento que o usuário colocasse seus óculos, entraria em um ambiente totalmente virtual, onde poderia ter uma casa, escolher seu avatar, se encontrar com amigos, criar reuniões, tudo isso em um ambiente completamente virtual, sem precisar digitar as palavras em um teclado, o usuário poderá interagir de outras formas, como por exemplo gestos, comandos por voz ou até mesmo pelo pensamento.

Além disso, o usuário poderia trazer qualquer coisa do mundo físico para o metaverso, e também criar festas, eventos, jogos e até outros mundos, e compartilhar esses espaços com outras pessoas. Em seu vídeo de apresentação, Mark Zuckerberg mostra como funcionaria o metaverso em diferentes situações do cotidiano, como por exemplo como seria trabalhar, se exercitar, ou até mesmo estudar nesse novo ambiente, e nos mostra que as possibilidades de explorar esse universo são praticamente infinitas.




A empresa de Mark Zuckerberg não é a única investindo no metaverso. Empresas como Snapchat, Unreal Engine, Microsoft, Amazon, Roblox, Epic Games e até a Adobe, estão investindo e ampliando suas áreas de atuação para criar este novo universo.

O jogo Second Life, lançado em 2003 foi um dos pioneiros em criar essa outra realidade fora do mundo físico. Através do jogo, que é online, é possível criar seu avatar, comprar um terreno e interagir com outros usuários. A popularidade do jogo caiu muito nos últimos anos devido a vários fatores, mas a ideia do jogo abriu espaço para a discussão desse outro universo. Outros jogos como The Sandbox, Decentraland, Fortnite e Roblox são jogos populares que possuem um universo virtual. Dentro desses jogos é possível interagir com outros usuários, andar com amigos, visitar construções, construir coisas e até mesmo participar de eventos e comprar terrenos. Em 2020 o rapper Travis Scott fez um show ao vivo no jogo Fortnite usando um avatar de si mesmo dentro do mundo virtual. De acordo com a Epic Games mais de 12 milhões de jogadores acompanharam o show.

O mercado interno dos jogos também está em expansão, a venda de itens e terrenos virtuais tem movimentado milhões de reais. Existem empresas imobiliárias focadas apenas em terrenos virtuais, o valor de um terreno em um jogo como Decentraland ou The Sandbox custam no mínimo US\$ 11 mil (valores de 2022). Além disso, arquitetos famosos estão sendo contratados para projetar nesses terrenos, valorizando ainda mais os terrenos. Além dos terrenos, grandes marcas como Nike, Gucci, Prada, Vans e Balenciaga já possuem coleções de objetos virtuais para serem vendidas nesses novos ambientes. Coleções feitas para serem comercializadas dentro do metaverso.

Em 2020, a pandemia do COVID-19 impossibilitou a realização de vários eventos. Muitos tiveram que ser cancelados e outros tiveram que se adaptar. O evento de experimento social colaborativo Burning Man, que acontece uma vez ao ano no deserto de Nevada nos Estados Unidos, foi um desses eventos que se adaptou às mudanças da pandemia. Em 2021 a organização do evento criou um gêmeo digital do local onde acontece o evento anualmente (uma versão virtual do evento), e chamou arquitetos, designers e artistas 3D para desenvolver esculturas interativas e obras de arte virtuais. O evento aconteceu em uma simulação digital e interativa do evento original, como se fosse um jogo de realidade virtual, onde as pessoas poderiam criar avatares e interagir com as obras de arte virtuais e shows, criando uma comunidade virtual.




Como podemos ver, os ambientes virtuais estão passando por uma grande valorização e grande expansão. São ambientes que possuem potencial para ser explorados de diversas formas, seja comercialmente, socialmente, ou até educacionalmente. São infinitas as possibilidades de interação e criação dentro do metaverso e o desenvolvimento desse universo cresce a cada dia. Podemos dizer que esses ambientes precisarão cada vez mais de equipes multidisciplinares e criativas para seu desenvolvimento, equipes que precisarão saber sobre arquitetura, desenvolvimento de games, mídias digitais e muitas outras áreas.

Os projetos aqui mencionados são apenas alguns exemplos dos diferentes mundos sendo criados. E, claro, por ser um ambiente novo e ainda muito jovem, é preciso cautela e cuidado. São muitas as questões que limitam ainda a criação de metaversos como o idealizado por Mark Zuckerberg, como por exemplo, a velocidade da internet e a privacidade dos usuários. A grande maioria desses universos são dominados pelas grandes empresas, e poucos, como o Decentraland, são descentralizados e controlados por toda a comunidade por meio da tecnologia blockchain. Outra questão é se os metaversos vão ser compatíveis entre si, e se só serão acessíveis por meio de óculos de realidade virtual por exemplo, que ainda são caros e pouco acessíveis à população. Essas questões ainda não possuem respostas e estão começando a ser discutidas conforme o assunto dos metaversos vai se expandindo. A importância deste tema na arquitetura nos traz muitos questionamentos: como serão os projetos de arquitetura em um futuro não tão distante? Qual será o papel do arquiteto no desenvolvimento desses novos universos?

### **Realidade aumentada (RA), realidade virtual (RV) e realidade mista (RM)**

Para entendermos melhor este trabalho e os mundos virtuais, faz-se necessário algumas definições. A realidade virtual (como a mencionada nos metaversos do capítulo anterior), segundo Milgram e Kishino (1994), pode ser definida como um ambiente em que o usuário está completamente imerso e consegue interagir em um ambiente completamente sintético, um ambiente onde as leis físicas que regem nossa realidade podem não se aplicar mais. A realidade virtual é um dos principais pilares para o desenvolvimento dos mundos virtuais e é acessada através de óculos especiais.

Ainda segundo Milgram e Kishino (1994), realidade aumentada seria a tecnologia usada para aumentar um ambiente através de meios virtuais (um celular ou óculos especiais). Como por exemplo os filtros do Instagram, Snapchat ou o jogo Pokemon GO. Outra definição importante de Milgram e Kishino (1994), é a definição do conceito de realidade mista, que seria



a mistura entre o mundo real e o mundo virtual. Onde os objetos virtuais e reais interagem em tempo real, ou seja, uma espacialidade híbrida.

Este trabalho buscou mesclar as tecnologias RA, RV e RM em um projeto experimental híbrido. O desenvolvimento do projeto arquitetônico midiático resultante desta pesquisa, buscou fazer parte dessa realidade híbrida e explorar as possibilidades de design e projeto diante desses novos espaços. Hoje em dia a arquitetura já busca explorar essas novas possibilidades.

### Web 3.0


É importante informar que a Internet passou por várias mudanças após sua criação, e principalmente após os anos 1990, a Internet se expandiu muito. Segundo Castells (1999), com a criação da World Wide Web (WWW), o sistema ficou mais simples e acessível, tornando-se mais fácil receber e localizar informações na internet. Logo após a criação da WWW, foi criado o hipertexto (*hypertext markup language* – HTML), e a comunicação entre o HTML e a WWW, tornou a internet ainda mais interativa e padronizada. A Web 1.0 possuía apenas sites estáticos, onde a interação entre as pessoas se dava basicamente entre trocas de e-mails. Era apenas um espaço para leitura, sem interatividade. Já a Web 2.0, que é a internet como conhecemos hoje, os usuários são os protagonistas, surgem as mídias sociais colaborativas, as redes sociais e a cultura do ciberespaço, a cibercultura. Sobre cibercultura, Levy aponta:

Os veículos de informação não estariam mais *no* espaço mas, por meio de uma espécie de reviravolta topológica todo o espaço se tornaria um canal interativo. A cibercultura aponta para uma civilização da telepresença generalizada. Para além de uma física da comunicação, a interconexão constitui a humanidade em um contínuo sem fronteiras, cava um meio informacional oceânico, mergulha os seres e as coisas no mesmo banho de comunicação interativa. (LEVY, 1997, p.127)

Essa era social participativa marcou a Web 2.0, a internet como conhecemos hoje. A Web 3.0, segundo Santos e Nicolau (2012), começa com a evolução da Web 1.0:

Os termos Web 1.0, 2.0 e a mais nova 3.0 são usados para descrever o processo de evolução da World Wide Web. Em 2004 que Tim O’ Reilly, com a “Web 2net..0 Conference” que ocorreu nos EUA, cunhou o conceito de Web 2.0, partindo daí o início das indagações sobre o que esta segunda onda da internet teria a mais que a Web 1.0 (primeira onda), o que as diferenciavam? (SANTOS; NICLAU, 2012, p. 4)

A Web 3.0 é também chamada de “terceira onda da internet” ou “web semântica”. E pretende revolucionar e mudar o jeito que usamos a internet. A proposta da Web 3.0 é continuar sendo descentralizada, construída em código aberto, e cada vez mais personalizada de acordo com o uso e perfil de cada usuário, por exemplo com os sites de busca sendo cada vez mais voltados para o interesse do usuário, mostrando resultados de acordo com quem está pesquisando no momento e entendendo melhor sua necessidade.




Através da Web 3.0 podemos esperar mudanças no jeito que usamos e interagimos com a Internet. Seu uso poderá transformar a experiência do usuário de forma multidimensional, através dela será possível mapear o mundo real e transformar esses dados em um outro ambiente híbrido, onde as informações mapeadas poderão ser acessadas de uma outra forma, através de realidade virtual e realidade aumentada, por exemplo, criando um outro tipo de interação, diferente da Web 1.0 e da Web 2.0, que somente podem ser acessadas por meios bidimensionais. Outra promessa da nova Web, é a segurança, por estar sendo desenvolvida através de criptografia, a proposta é que a segurança de dados seja reforçada, promovendo assim maior segurança e privacidade aos usuários. Combinada com realidade virtual e realidade aumentada, a ideia é que a Web 3.0 seja mais um passo na concretização da nova realidade híbrida e dos novos espaços interativos, criando outro tipo de interação entre usuário, mundo físico e mundo virtual.

### **Blockchain e NFTs**

A tecnologia blockchain foi criada por Satoshi Nakamoto em 2008. A ideia era criar uma tecnologia que fosse descentralizada, onde os próprios usuários validassem as transações sem a necessidade da intermediação de um banco central. A moeda digital criada junto com a tecnologia blockchain foi o Bitcoin. Em 2008, Satoshi Nakamoto publicou pela primeira vez um artigo descrevendo a tecnologia blockchain e detalhando todo o sistema e forneceu o software para concretizar sua ideia.

Segundo Hollins (2018), a tecnologia blockchain se baseia no sistema “*peer-to-peer*”, que significa “de igual para igual”, para concretizar suas transações. Esse sistema significa que as informações serão validadas de usuário para usuário, sem a necessidade de um intermediário. Os dados são públicos e criptografados, ou seja, os dados ficam armazenados nos computadores de todas as pessoas da rede e qualquer pessoa pode ter acesso à essas informações. Através da blockchain é possível a validação de diferentes tipos de contratos, informações e dados. Segundo Santos (2019), esse sistema de validação funciona da seguinte forma: As informações validadas são chamadas de blocos. Cada bloco validado fica registrado na rede, com a informação de quando foi criado e com um link para o bloco anterior. A validação dos blocos é feita pelos próprios usuários da rede (chamados de mineradores), cada minerador recebe uma recompensa pela validação do bloco. Assim a rede vai crescendo e se sustentando sem a ajuda de terceiros, apenas com os usuários. Sendo extremamente difícil hackear essa rede, já que para voltar atrás de um bloco, é preciso quebrar toda a rede que foi construída até ali. Vamos usar como exemplo o Bitcoin. A cada Bitcoin minerado, os mineradores recebem como recompensa





uma fração da moeda. Essa mineração é feita através de contas matemáticas executadas pelos softwares de inúmeros computadores ao mesmo tempo, é essa mineração que valida as transações que ocorrem na rede. Atualmente existem diversas redes blockchain, públicas ou privadas. Essas redes têm valor real e podem ser comercializadas como criptomoedas, e também servem para validar certificados e transações.


A ideia da tecnologia blockchain pode ser usada de diferentes formas, não apenas como moeda digital. Como foi criada para validar transações, pode ser aplicada e adaptada de acordo com diferentes necessidades. Ainda segundo Santos (2019), a Holberton School e o *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* são instituições que já adotam certificados validados através da blockchain. Seja para gerar certificados, validar contratos ou ser usada na economia através das criptomoedas, a transmissão de dados possibilitada pela blockchain está permitindo que os usuários experimentem outra forma de lidar com diferentes situações. Por ser um sistema aberto, seguro e descentralizado, suas aplicações são inúmeras.

Os NFTs (Non Fungible Token) são um exemplo de certificados criptografados e digitais possibilitados pela rede blockchain. Non Fungible Tonken significa “token não fungível”, significa certificar que determinado item é único. Os NFTs servem como um certificado digital para que vídeos, fotos e artes digitais possam ser validadas e recebam esse “certificado de autenticidade”, dizendo que aquele item é o original e verdadeiro. Por exemplo, pegamos uma nota de 50 reais. Essa nota é um item fungível, pode ser trocada, pois existem muitas notas de 50 reais. Mas um quadro de Van Gogh é um item não fungível, pois um quadro como aquele é único. Segundo Wang (2021):

NFT é único e não pode ser trocado de igual para igual (equivalente, não fungível), tornando-o adequado para identificar algo ou alguém de forma única. Para ser específico, usando NFTs em contratos inteligentes (em Ethereum), um criador pode facilmente provar a propriedade de ativos digitais na forma de vídeos, imagens, artes, ingressos de eventos, etc. Além disso, o criador ainda pode ganhar royalties cada vez que acontece uma negociação bem-sucedida em qualquer mercado NFT ou *peer-to-peer*. Negociabilidade de histórico completo, liquidez profunda e interoperabilidade conveniente permitem que a NFT se torne uma solução promissora de proteção de propriedade intelectual. (WANG et al., 2021, p. 2, tradução nossa)<sup>3</sup>

---


<sup>3</sup> NFT is unique which cannot be exchanged like-for-like (equivalently, non-fungible), making it suitable for identifying something or someone in a unique way. To be specific, by using NFTs on smart contracts (in Ethereum [119]), a creator can easily prove the existence and ownership of digital assets in the form of videos, images, arts [83], event tickets [103], etc. Furthermore, the creator can also earn royalties each time of a successful trade on any NFT market or by peer-to-peer exchanging. Full-history tradability, deep liquidity, and convenient interoperability enable NFT to become a promising intellectual property (IP)-protection solution. (WANG et al., 2021, p. 2)



Os certificados NFTs funcionam assim, validam digitalmente obras de arte, vídeos, músicas e até memes. Esses certificados são registrados na rede blockchain e são públicos, imutáveis e descentralizados. Os NFTs podem ser vendidos como itens colecionáveis e adquiridos em marketplaces online. As transações são validadas na rede Ethereum e podem chegar a valer milhões de dólares.

Qualquer coisa na internet pode se tornar um NFT, ultimamente muitos jogos têm surgido com a proposta de possuírem personagens e itens NFTs, isso torna os itens colecionáveis dentro do jogo, fazendo os usuários investirem tempo e dinheiro em peças exclusivas. Os jogos NFTs funcionam de uma forma que quando mais os jogadores jogam, mais pontos eles ganham, e assim trocam esses pontos por moedas, tokens digitais ou itens colecionáveis. Os tokens podem ser sacados e trocados por real, dólar, ou outras moedas, digitais ou não. Os terrenos e praticamente todos os itens do metaverso mencionados no capítulo anterior, por exemplo, são NFTs, ou seja, cada terreno ou item adquirido no metaverso é único e exclusivo. Jogos como o The Sandbox foram desenvolvidos com o propósito de criar e exibir NFTs dentro do jogo, ou seja, por ser um jogo de código aberto criado através de blockchain, cada jogador cria seus próprios itens e comercializa dentro do jogo.

Os artistas digitais também estão usando a blockchain e os NFTs para promover seus trabalhos artísticos. Os sites OpenSea, SuperRare e o Rarible são exemplos de sites onde é possível transformar artes digitais em NFTs e colocá-las a venda. As artes NFTs podem ser muito lucrativas e vendidas por milhares de dólares. Além dos artistas, o universo dos NFTs abre muitas possibilidades para os arquitetos e para o mercado imobiliário de diferentes formas. Um exemplo do uso dos tokens no mercado imobiliário é a digitalização das escrituras dos imóveis. A partir dessa digitalização a escritura do imóvel passa a ser ligada a um token criptografado. O token pode ser comercializado e quem o adquirir passa a ser proprietário do imóvel. Com a digitalização desse imóvel, não existe a necessidade de que se compre o token todo, podendo ser comprado apenas uma fração desse token, dessa forma a pessoa passa a ser proprietária apenas da fração adquirida. A ideia é que independentemente se a pessoa escolha morar ou alugar o imóvel, ela receba a parte proporcional ao aluguel da sua fração do imóvel. Assim o consumidor pode ser proprietário de um imóvel com qualquer valor, não precisando necessariamente comprar todo o empreendimento.



As aplicações permitidas pela tecnologia blockchain são inúmeras e ainda estão começando a ser exploradas. Na área da arquitetura, os NFTs se complementam à Web 3.0, à realidade aumentada, à realidade mista e ao metaverso para criar espaços imersivos e híbridos. Atualmente a maioria das vendas de NFTs acontece online em sites da internet, mas é provável que em um futuro não tão distante os NFTs se tornem interativos, mesclando com os espaços físicos.


### **Projetando para o digital**

As atividades dos arquitetos na sociedade sempre foram muito concretas, como o desenho, a concretização dos espaços, a espacialidade dos ambientes físicos, e a representação dos espaços futuros. Podemos dizer que a idealização desses espaços também faz parte das funções do arquiteto, e nos últimos anos a tecnologia tem mudado a forma com que trabalhamos e experimentamos esses espaços. Como visto nos capítulos anteriores, são inúmeras as formas nas quais a arquitetura pode se beneficiar e se juntar com a tecnologia. Os espaços híbridos e virtuais estão cada vez mais fazendo parte da nossa sociedade, e investimentos nessa nova realidade são cada dia maiores, além disso, toda a economia e indústrias estão migrando para o mundo virtual.

Nem sempre os arquitetos conseguem concretizar todas as suas ideias para um projeto, seja pela discordância com o cliente, seja pela falta de orçamento, o fato é que, fora do contexto da universidade, onde os estudantes são livres para projetar e imaginar sem limites, é muito raro arquitetos conseguirem clientes que estejam dispostos a ir a fundo em suas ideias, independente de qual seja ela e de quanto irá custar. Na arquitetura a grande maioria dos projetos são criados para se concretizarem e saírem do papel, mas a mudança que podemos ver agora são outras possibilidades de se fazer arquitetura e de se pensar os espaços. Os mundos virtuais fazem parte dessa nova realidade, onde os arquitetos podem ter a liberdade de criar e imaginar espaços que não necessariamente serão concretizados no mundo real, e sim no ambiente virtual.

Segundo Levy (1997):

Os mundos virtuais podem eventualmente ser enriquecidos e percorridos coletivamente. Tornam-se, nesse caso, um lugar de encontro e um meio de comunicação entre seus participantes. O *engenheiro de mundos* surge, então, como o grande artista do século XXI. Ele provê as virtualidades, arquiteta os espaços de comunicação, organiza os equipamentos coletivos da cognição e da memória,



estrutura a interação sensório-motora com o universo dos dados. A World Wide Web, por exemplo, é um mundo virtual que favorece a inteligência coletiva. Seus inventores – Tim Berners Lee e todos aqueles que programaram as interfaces que nos permitem navegar na Web – são engenheiros de mundo. Os inventores de programas para trabalho ou aprendizagem cooperativa, os criadores de vídeo games, os artistas que exploram as fronteiras dos dispositivos interativos ou dos sistemas de televirtualidade também são engenheiros de mundos (LEVY, 1997, p 145).


Os arquitetos além de projetar para o mundo físico, agora também assumem o papel de “engenheiros de mundo”, como menciona Levy (1997), através da criação dos novos espaços e dessa nova realidade híbrida. A contribuição dos arquitetos para a construção dos espaços híbridos pode ser de várias formas, segundo Sun (2021), os arquitetos serão a ponte na construção entre o mundo físico e o mundo virtual. Já existem empresas focadas em construir e desenvolver projetos exclusivamente virtuais, para a criação desses projetos são utilizados os mesmos softwares com os quais os arquitetos já estão familiarizados.

O arquiteto é um profissional multidisciplinar, que em sua formação passa por várias áreas diferentes e é necessário aprendizagem constante para acompanhar as mudanças da sociedade. Na faculdade de arquitetura é ensinado desde fotografia e desenho, até cálculo, softwares e legislação, e provavelmente nos próximos anos seja necessário mudar ou acrescentar outras áreas do conhecimento, como programação por exemplo. O processo projetual e o modo de fazer arquitetura está passando por mudanças, e principalmente ao projetar espaços híbridos e espaços virtuais será preciso repensar esse processo.

Segundo Requena (2019):

Verifiquei algumas situações desse criar híbrido, por exemplo, quando um arquiteto inicia uma modelagem 3D no computador e em seguida traz esse modelo para o meio concreto por meio da impressão 3D, para esculpi-lo à mão e em seguida levá-lo novamente para o computador, utilizando um scanner 3D e retomando a modelagem virtual em seguida. Há, nesse processo, um enorme potencial criativo que extrapola os limites físicos possíveis sem o uso dessas tecnologias e que nos permite refletir sobre as possibilidades de se repensar o processo de projeto (REQUENA, 2019, p.46).

O uso da tecnologia para projetar acontece de diversas maneiras. As imagens 3D usadas na representação dos projetos, por exemplo, estão cada vez mais realistas, muitas vezes sendo difícil saber se é um projeto construído ou apenas uma imagem criada no computador. Além disso, outras mídias estão sendo incorporadas, a realidade aumentada e a realidade virtual também estão contribuindo para o processo projetual. Hoje já é possível visualizar o projeto com óculos de realidade virtual e até mesmo usar a realidade aumentada para fazer mudanças em tempo real no projeto. Outra possibilidade de interação e criação entre o mundo real e o mundo virtual é através dos chamados *digital twins*, onde é possível visualizar uma versão do




projeto virtual idêntica a versão real, assim as duas versões conseguem trocar informações e coletar dados.

As mudanças na arquitetura e nos ambientes virtuais ocorrem em ritmo acelerado e todo esse universo ainda está em suas fases iniciais e tem muito a ser explorado, suas possibilidades são infinitas. Com equipes cada vez mais interdisciplinares, caberá aos futuros arquitetos, designers, programadores, e usuários repensar e refletir sobre como serão esses novos espaços, sejam eles físicos, digitais ou ambos.

### **Design paramétrico e algoritmos**

Além dos tópicos aqui tratados, outro de suma importância para este trabalho é o papel do design paramétrico (ou design generativo) e do design colaborativo na arquitetura. Podemos dizer que desde a invenção do CAD, o processo de fazer arquitetura passou por grandes mudanças, o uso do computador no processo de design permitiu encontrar diferentes soluções, aumentando a produtividade e as possibilidades nas formas finais dos projetos. Segundo Kolarevic (2001), apenas recentemente os avanços nas tecnologias do design assistido por computador (CAD) e da manufatura auxiliada por computador (CAM) começaram a ter impacto nas práticas construtivas. Essas tecnologias abriram muitas oportunidades e permitiram a construção e a produção de formas complexas que seriam muito difíceis e caras para produzir e projetar através das formas convencionais. Além do CAD, os softwares BIM (Building Information Modeling) revolucionaram o modo de fazer arquitetura. Através do BIM foi possível coordenar todo o projeto e suas informações em um mesmo modelo, sendo possível a visualização dos modelos 3D ao mesmo tempo que todas as outras informações do projeto. Com o desenvolvimento dos softwares para auxiliar no projeto arquitetônico, surgiu também a arquitetura paramétrica e o uso dos algoritmos nos projetos. Algoritmos são como uma receita de bolo, são uma série de regras criadas para realizar determinada função, que podem ser interpretadas por um software. Segundo Shea et al. (2005), projetar através de conceitos paramétricos, significa que o design generativo transforma o computador de um assistente de desenho para um gerador através do uso de regras definidas. O design generativo é feito para surgir com novas ideias de design e resolver tarefas complicadas, em ambas providenciando apoio e expandindo as capacidades de design. No design generativo, o arquiteto define os parâmetros e regras, e o software analisa e define as melhores opções.

Sobre o design paramétrico, Requena (2019), afirma:



Nesse caso, uma relação de simbiose é estabelecida entre máquina e homem: o homem, responsável por desenvolver o processo e escolher o resultado final; e o computador, responsável pelas diversas variações formais no processo de modelagem paramétrica, feitos a partir de programas com processos generativos. (REQUENA, 2019, p.52)

Através do design paramétrico é possível ditar uma série de variáveis que mudam completamente o design do projeto, e as possibilidades são infinitas. Podemos por exemplo, definir que a fachada de tal edifício mudará conforme as pessoas se movem dentro dele. Para isso são usados sensores que coletam os dados, no caso sensores de movimento, que captam o movimento das pessoas dentro do edifício, esses dados são transformados e lidos pelo computador e traduzidos através dos algoritmos. Os algoritmos geram desenhos, projetados na fachada que mudam de acordo com os dados recebidos. Esse exemplo da fachada pode ser aplicado de inúmeras formas diferentes. O design paramétrico tem muitas aplicações, que vão muito além do desenho da fachada ou de algum detalhe no edifício. Hoje em dia estão sendo desenvolvidas ferramentas para aplicar o design generativo no urbanismo, usando algoritmos para prever projetar bairros e cidades inteiras, como por exemplo o Sidewalk Labs, que usa inteligência artificial para desenvolver as melhores opções de design no urbanismo. Através da ferramenta desenvolvida pelo Sidewalk Labs, é possível definir várias prioridades, como a densidade, a luz natural, a infraestrutura, e assim a inteligência artificial mostra as melhores opções projetuais de acordo com as prioridades selecionadas. Através do design generativo e do uso dos algoritmos, outra relação projetual está sendo criada entre os arquitetos e a tecnologia, abrindo outras possibilidades de criar e projetar.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os fatos mencionados, podemos observar as mudanças que a arquitetura e a tecnologia juntas possibilitam. Podemos ver que o uso da tecnologia na arquitetura tem transformado diferentes formas de criação, utilização e hibridização dos espaços físicos e virtuais. Cada vez mais os arquitetos terão que se adaptar a novas possibilidades projetuais e a outras formas de criar. A tecnologia possui diferentes formas de se unir à arquitetura, e projetar para o mundo digital requer uma equipe multidisciplinar e criativa. Os espaços do futuro serão cada vez mais híbridos e conectados, possibilitando a criação de espaços interativos e imersivos, onde o usuário será parte fundamental do processo criativo.

Por ser um tema em constante mudança, esta pesquisa buscou apresentar algumas das inúmeras formas de fazer arquitetura que estão começando a ser estudadas. O tema é de grande importância para a área e relativamente novo, possuindo grande potencial para ser explorado.

## REFERÊNCIAS

- PINTOS, P. ArchDaily. **MEET Digital Arts Center/Carlo Ratti Associati**. 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com/950424/meet-digital-arts-center-carlo-ratti-associati>. Acesso em 05 de março de 2022.
- BALTAZAR, A. P. **E-futuros: projetando para um mundo digital**. *Arquitextos*, São Paulo, ano 02, n. 013.07, Vitruvius, jun. 2001 <https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/02.013/882>
- CASTELLS, M. **A sociedade em rede**. São Paulo: Paz e Terra, 1999. v. 1.
- FAGUNDES, P. **Blockchain: O que é? De onde vem? Do que vive? O que come?**. 2017. E-book.
- FOX, M. **Interactive Architecture**. Princeton Architectural Press; 1ª edição, 2009.
- HARAWAY, D. **Antropologia do ciborgue: As vertigens do pós-humano**. Belo Horizonte: Autêntica, 2000.
- HERNANDEZ, J. **From the Fun palace to the Generator Cedric Price and the conception of the first intelligent building**. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2015. Disponível em: <http://www.interactivearchitecture.org/the-generator-project.html> Acesso em 10 de fevereiro de 2022.
- HOLLINS, S. **Bitcoin para iniciantes: O guia definitivo para aprender e usar bitcoin. Crie uma carteira, compre bitcoin, aprenda o que é blockchain e a mineração de bitcoin**. 2018. E-book.
- KOLAREVIC, B. **Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age**. University of Pennsylvania, USA. 2001.
- LÉVY, P. **Cibercultura**. (Trad. Carlos Irineu da Costa). São Paulo: Editora 34, 1997.
- LEVY, P. **O que é o virtual**. São Paulo: Ed. 34, 1996.
- MANOVICH, L. **Novas mídias como tecnologia e ideia: dez definições**. In: LEÃO, L. (org.). **O chip e o caleidoscópio: reflexões sobre as novas mídias**. São Paulo: Senac São Paulo, 2005. p. 23-50.
- MILGRAM, P., KISHINO, F. **A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays**. IEICE Transactions on Information Systems, Vol E77-D, No. 12 Dezembro de 1994.
- MITCHEL, W. J. **City of bits**. Cambridge: MIT Press, 1995.
- NING, H., WANG, H., LIN, Y., WANG, W., DHELMIM, S., FARHA, F., DING, J., DANESHMAND, M. **A Survey on Metaverse: the State-of-the-art, Technologies, Applications, and Challenges**. Cornell University, 2021.
- REQUENA, G. **Habitar híbrido: subjetividades e arquitetura do lar na era digital**. São Paulo: Senac, 2019.

ROBINSON, J. **THE SCI-FI GURU WHO PREDICTED GOOGLE EARTH EXPLAINS SILICON VALLEY'S LATEST OBSESSION.** Vanity Fair, 2017. Disponível em: <https://www.vanityfair.com/news/2017/06/neal-stephenson-metaverse-snow-crash-silicon-valley-virtual-reality> Acesso em 05 de fevereiro de 2022.

ROÇA, L., TRAMONTANO, M. **Entornos híbridos: som, espaço e simultaneidade.** IV Seminário Música Ciência Tecnologia: Fronteiras e Rupturas. 2012.

SANTOS, Cleorbete; PRATA, David Nadler; ARAUJO, Humberto Xavier. **Fundamentos da Tecnologia Blockchain.** 2019. E-book.

SANTOS, E., NICOLAU, M. **Web do Futuro: a Cibercultura e os Caminhos Trilhados Rumo a uma Web Semântica ou Web 3.0. 1.** Revista Temática. V.8 n.10, 2012.

SHEA, K. AISH, R., GOURTOVAIA, M. **Towards integrated performance-driven generative design tools.** Automation in Construction. 14. 253-264. 2005.

SUN, C. ArchDaily. **Architecting the Metaverse.** 2021. Disponível em: <https://www.archdaily.com/968905/architecting-the-metaverse> Acesso em 05 de fevereiro de 2022.

VENTURA, M. M. **O Estudo de Caso como Modalidade de Pesquisa.** Pedagogia Médica. Rev SOCERJ. Setembro, 2007.

Virtual Burn. Disponível em: <https://virtualburn.burningman.org/booth/> Acesso em 03 de fevereiro de 2022.

WANG, Q., LI, R., WANG, Q., CHEN, S. **Non-Fungible Token (NFT): Overview, Evaluation, Opportunities and Challenges.** Cornell University, maio de 2021.



# CAPÍTULO 4

## PROPOSTA DE MAPA DE RISCO DE LABORATÓRIO NO CONTEXTO DA PANDEMIA (COVID-19)

**Sâmela Leal Barros**  
**Yuciara Barbosa Costa Ferreira**  
**Amanda Priscila Silva Nascimento**  
**Isabela Alves dos Santos**  
**Suelyn Fabiana Aciole Morais**


### RESUMO

Os mapas de riscos são inseridos nos ambientes de trabalho para que se torne possível a identificação dos pontos críticos relacionados a ocorrência de acidentes e doenças do trabalho, reduzindo ou até eliminando os riscos existentes. Objetivou-se através do presente estudo a elaboração de mapa de risco para o laboratório de frutos tropicais da Universidade Federal do Ceará (UFC), apontando os principais problemas e as melhorias necessárias, considerando o contexto atual com a pandemia do coronavírus. Dentre os riscos existentes, observou-se a incidência mais elevada de riscos químicos, ergonômicos e biológicos. Os riscos químicos presentes no laboratório são associados principalmente aos reagentes químicos utilizados durante as análises realizadas no laboratório; Os riscos ergonômicos são provenientes principalmente das atividades repetitivas, postura inadequada e jornada de trabalho realizada predominantemente de pé; Os riscos biológicos são associados a vírus e bactérias, porém no momento atual, destaca-se o especificamente o coronavírus que tem afetado de forma frequente os trabalhadores nos ambientes laborais, trazendo inúmeros prejuízos. Foi possível verificar a importância dos mapas de risco para promover a segurança dos técnicos, docentes e discentes que trabalham no laboratório. Pois, através do mapa de risco torna-se possível a observação dos pontos críticos associados aos fatores de risco de maneira mais clara, possibilitando conscientização mais eficiente dos trabalhadores e transeuntes. Observa-se também, a necessidade de alertar as pessoas com relação aos riscos pelos quais estes são expostos rotineiramente e a importância da utilização dos equipamentos de proteção coletiva, individual e medidas de controle.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mapa de Risco, Laboratório de análises, Segurança do trabalho.

### INTRODUÇÃO

Todos os tipos de organização devem ter como prioridade a promoção da saúde do trabalhador, a proteção da integridade física e a prevenção de acidentes decorrentes das atividades laborais. Através das Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho, são preconizados critérios necessários para garantir a prevenção de acidentes de trabalho em diversas estruturas. Dentre as diversas estruturas físicas que necessitam do cumprimento das normas do Ministério da economia, encontram-se os laboratórios (industriais ou acadêmicos) (ARRUDA, 2015, p.11).




De acordo com Ferreira et al. (2018, p.361), o ambiente de trabalho é o local onde o funcionário desenvolve suas atividades relacionadas com o ofício e durante as práticas laborais, esses profissionais são expostos a diversos riscos relacionados a agentes químicos, físicos, biológicos e psicossociais. O acidente de trabalho é definido como um acontecimento súbito que ocorre durante a execução das atividades laborais podendo acarretar danos imediatos ou tardios ou até mesmo a morte destes trabalhadores. Também é considerado acidente de trabalho os eventos ocorridos durante o trajeto para o serviço (BRASIL, 2006).

Além dos riscos comumente existentes devido a realização de atividades laborais, o contexto atual de pandemia (covid-19), provocou a inserção de um novo risco biológico, que provoca a síndrome respiratória aguda grave do coronavírus (SARS-CoV-2). A crise atual trouxe diversas mudanças nos ambientes de trabalho, especialmente após a decisão do STF (do dia 29 de abril de 2020) que modificou o artigo 29 da medida provisória de nº927, de 22 de março de 2020, considerando o coronavírus como doença ocupacional, sem que seja necessário a comprovação de nexos causal laboral.

De acordo com Gallasch et al. (2021, p.210), o coronavírus impôs a necessidade de implementação de protocolos para prevenção da contaminação, adoecimento e propagação da doença do coronavírus (COVID-19) entre os trabalhadores expostos ao vírus durante suas atividades laborais, através de equipamentos de proteção individual, medidas de controle coletivas, estratégia de intervenção como o isolamento de casos suspeitos e testagem daqueles que estiveram em condições de alto ou muito alto risco de exposição ao vírus SARS-CoV-2.

As atividades realizadas no laboratório devem ser efetuadas com as condições adequadas de segurança com todos os riscos existentes, considerando especialmente o risco biológico atribuído ao coronavírus durante o período em que ainda há elevada possibilidade de contágio. Porquanto, torna-se necessário a aplicação dos conjuntos de normas técnicas estabelecidas por lei, para os riscos existentes em cada atividade desenvolvida.

De modo que, torna-se necessário estabelecer um mapa de risco para os laboratórios, trazendo uma representação gráfica para os riscos existentes no local de trabalho. A fim de que, ocorra maior prevenção de acidentes e doenças ocupacionais (inclusive a covid-19), pois o mapeamento ajuda a promover atitudes mais cautelosas por parte dos trabalhadores diante dos perigos identificados e graficamente sinalizados, contribuindo para a eliminação ou controle dos riscos detectados.



Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo a elaboração de um mapa de risco para o laboratório de frutos e hortaliças, pertencente a Universidade Federal do Ceará, para a identificação dos principais riscos e conseqüentemente alertar os usuários do laboratório da situação de segurança do local no contexto da pandemia (coronavírus).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Local de desenvolvimento do trabalho**

O presente estudo foi realizado no laboratório de frutos e hortaliças, no bloco 852, pertencente a Universidade Federal do Ceará, campus do Pici, localizado na cidade de Fortaleza-CE.

O laboratório em estudo, divide-se em três laboratórios (denominados por laboratório 1, 2 e 3), e é utilizado para a realização de diversas análises que são primordiais para o desenvolvimento de pesquisas de vários níveis acadêmicos (projetos de extensão, PIBIC, PIVIC, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses) da unidade acadêmica de engenharia de alimentos da UFC. As análises são realizadas com auxílio de equipamentos (pequeno, médio e grande porte) e de reagentes para diversos propósitos.

### **Classificação do estudo**

O estudo foi realizado de maneira predominantemente descritiva-exploratória, baseada na observação do local para a coleta dos dados para posterior avaliação e realização de proposta para o controle dos riscos existentes, considerando também o contexto de pandemia (COVID-19) e a retomada gradual das atividades presenciais na universidade.

### **Elaboração do mapa de risco**

O mapa de risco foi elaborado através dos seguintes procedimentos: Observação do local, das análises realizadas e dos trabalhadores (técnicos, discentes e docentes); Identificação dos riscos existentes (químico, físico, biológico, ergonômico, acidente mecânico) e classificação com relação a intensidade dos riscos; Identificação das medidas de prevenção adotadas; verificação das queixas por parte dos trabalhadores; por fim, a elaboração do mapa de riscos.

O mapa de riscos foi desenvolvido com base no layout do bloco, onde localiza-se os laboratórios avaliados. Os riscos foram divididos de acordo com a classificação prevista na NR 9 (BRASIL, 1994), em:

**Riscos Físicos** – Ruídos, vibrações, radiação ionizantes e não-ionizantes, frio, calor, umidade, que são provocados por agentes físicos, tais como: máquinas e equipamentos.

**Riscos Químicos** – São provocados por agente químicos (nas formas líquidas, gasosas e sólidas) que causam reações tóxicas nas vias: cutânea, respiratória ou digestiva.






**Riscos Biológicos** – Causados por agentes Biológicos (vírus, bactérias, fungos), que ao contaminar o trabalhador desencadeiam doenças.

**Riscos Ergonômicos** – Resultantes das inadequações do ambiente de trabalho aos trabalhadores. As inadequações mais comuns são: postura incorreta, elevada repetitividade dos movimentos, causando doenças ao trabalhador.

**Riscos de Acidentes** – Ocorrem principalmente de arranjos físicos ineficientes ou inadequados, máquinas sem manutenção ou com defeito, ausência de proteção nas máquinas, instalações elétricas deficientes. Podem provocar lesões a saúde e integridade física do trabalhador.

Estão descritas na Tabela 1 as classificações dos principais riscos ocupacionais por natureza das atividades através das cores.

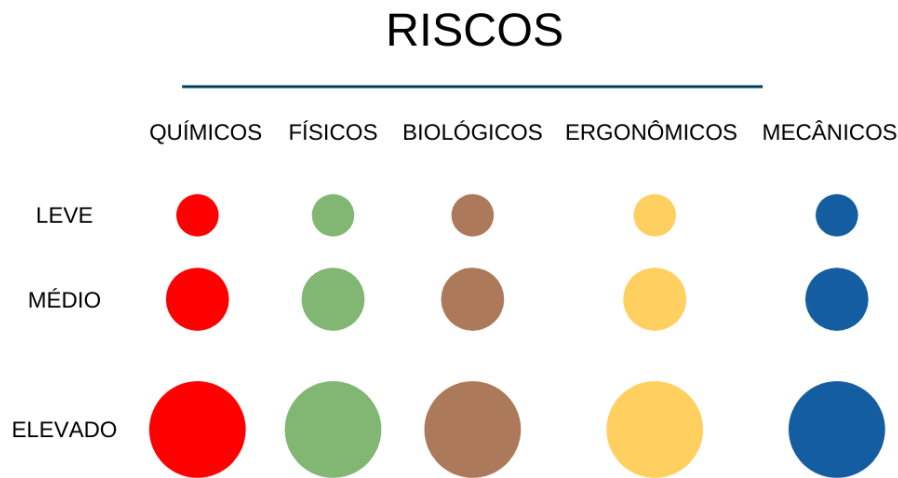
**Tabela 1:** Classificação dos riscos por cores.

<b>Físicos</b> 	<b>Químicos</b> 	<b>Biológicos</b> 	<b>Ergonômicos</b> 	<b>Acidente</b> 
Ruídos	Poeiras	Vírus (especialmente o coronavírus)	Esforço físico intenso	Arranjo físico inadequado
Vibração	Fungos	Bactérias	Levantamento e transporte manual de peso	Máquinas e equipamentos sem proteção
Radiação Ionizante Frio	Névoas Neblinas	Protozoários Fungos	Postura inadequada	Eletricidade Probabilidade de incêndio e explosão
Calor	Gases	Parasitas	Imposição de ritmos excessivos	Iluminação inadequada
Pressões anormais Umidade	Vapores Produtos químicos	Bacilos	Trabalho em turno noturno Jornadas de Trabalho Prolongadas Monotonia e repetitividade	Armazenamento inadequado Animais peçonhentos

**Fonte:** Autora (2021).

A Figura 1 apresenta a simbologia das cores (representando os tipos de riscos) e os tamanhos (indicando os graus de risco).

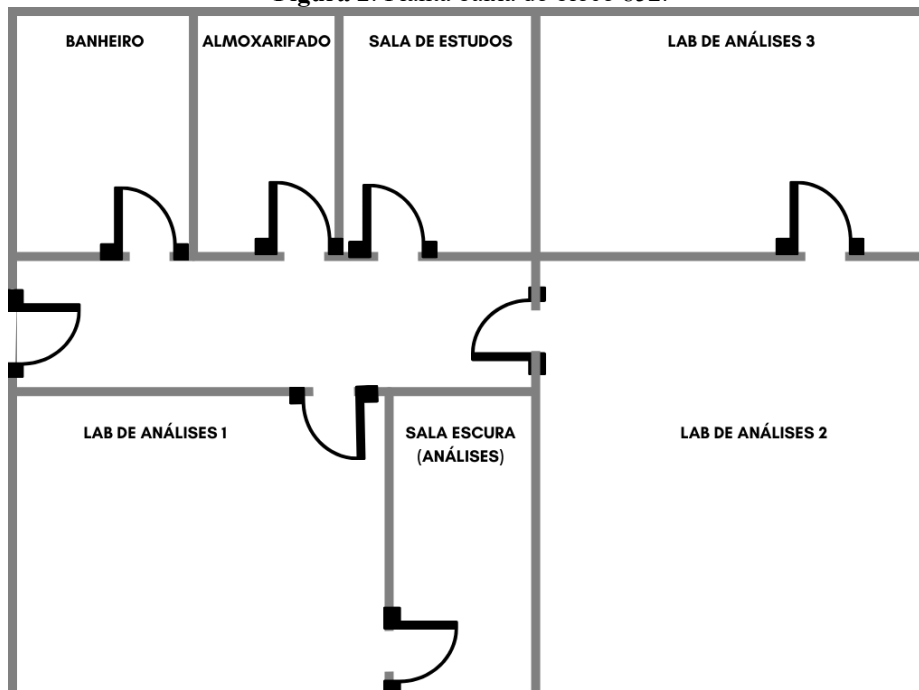
**Figura 1:** Classificação dos riscos por cores e tamanhos.



Fonte: Autora (2021).

A Figura 2, apresenta a planta baixa do bloco 852 (laboratório de frutos e hortaliças) localizado na Universidade Federal do Ceará, que engloba em suas instalações os laboratórios (1, 2 e 3), sala escura, almoxarifado, sala de estudos e banheiro.

**Figura 2:** Planta baixa do bloco 852.



Fonte: Autora (2021).

Através da Figura 3, pode-se observar os laboratórios. Laboratório 1 (Fig. 3a), Sala escura (Fig. 3b), Laboratório 2 (Fig. 3c) e Laboratório 3 (Fig. 3d).

**Figura 3:** Imagens fotográficas dos laboratórios.



Fonte: Autora (2021).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para que ocorra uma intervenção nos ambientes e condições de trabalho, deve ser realizada previamente uma análise criteriosa e global da organização laboral (análise do conteúdo das tarefas, dos modos operatórios, dos postos de trabalho, do ritmo e da intensidade do ofício, dos fatores mecânicos, das condições físicas do posto laboral, das normas de produção, dos sistemas de turnos, dos fatores psicossociais e individuais e da relação de trabalho entre colegas e chefias). Ademais, deve-se considerar as medidas de proteção coletiva e individual implementadas pelas empresas e as estratégias de defesa individuais e coletivas adotadas pelos trabalhadores (FERREIRA et al., 2018, p.361).

A partir das observações do setor, tracejou-se uma planta baixa do Laboratório, identificando todos os riscos. Na Tabela 2 estão apresentados os equipamentos que fazem parte do patrimônio do Laboratório 1 contendo suas especificações e os seus respectivos riscos.

**Tabela 2:** Equipamentos pertencentes ao Laboratório 1.

<b>Equipamento</b>	<b>Função</b>	<b>Especificações elétricas</b>	<b>Riscos</b>
<b>Balança eletrônica</b>	Pesagem das amostras.	Voltagem: 220 v	Ergonômico
<b>Chapa aquecedora</b>	Chapa aquecedora em faixa de temperatura de 50°C a 300°, variação de +/- 5°C.	Voltagem: 220 v	Físicos e de Acidente: queimaduras.
<b>Freezer vertical</b>	Congelamento em baixas temperaturas, sendo oconfigurável pelo usuário entre -50°C e -86 °C.	Voltagem: 220 v	Físicos e de Acidente: queimaduras.
<b>Centrífuga (mod. 206 BL)</b>	Centrifugar amostras, em faixa de rotação de até 5.000 rpm.	Voltagem: 220 v	Físico.
<b>Dessecador de vidro</b>	Armazenar as amostras sem que ocorra absorção de umidade do ar (Recipiente hermético e com sílica)		Ergonômico e de acidente: corte

Fonte: Autora (2021).

Através do Quadro 2, pode-se observar os equipamentos existentes no laboratório 1, que geram ao laboratório os riscos: ergonômicos e físicos. Além destes riscos exemplificados através do Quadro, observa-se também como risco químico os reagentes que são utilizados durante as análises e o risco biológico existente devido ao coronavírus. Contudo, pode-se inferir que os riscos são baixos.

O risco ergonômico pode ser observado em todos os laboratórios e na sala de estudo, pois é um risco associado aos seguintes comportamentos: postura inadequada, realização de atividades repetitivas e jornada de trabalho de pé. Estes comportamentos descritos anteriormente são inerentes das atividades realizadas em laboratório, por isso, é importante alertar os trabalhadores sobre a necessidade de pausas para descanso, conforme descrito na NR 17 : “Para as atividades em que os trabalhos devam ser realizados de pé, devem ser colocados assentos para descanso em locais em que possam ser utilizados por todos os trabalhadores durante as pausas” (BRASIL, 1978).

Também devem ser alertados para utilizar uma postura adequada durante os experimentos, além de evitar a sobrecarga de peso. Para isso, devem utilizar suporte com rodas

para realizar o transporte do dessecador, neste caso pode-se reduzir o risco ergonômico e de acidentes.

Os riscos físicos existentes são predominantemente ocasionados por meio do calor e frio gerados pelos equipamentos, por isso é importante a utilização de luvas protetoras. Os equipamentos encontram-se com arranjos físicos adequados, os riscos elétricos encontram-se reduzidos por causa da instalação elétrica que está correta. Os riscos de acidente ocorrem devido a manipulação de vidrarias e pela possibilidade de queimaduras pela chapa aquecedora. É necessário que os usuários do laboratório sejam alertados com relação a importância da atenção durante as análises e da utilização dos EPI's.

A Sala escura apresenta um maior risco por se tratar de um ambiente com um menor espaço, além de apresentar luminosidade e ventilação reduzidas. O único equipamento existente na sala escura é um espectrofotômetro digital (modelo UVMINI – 1240).

Na Tabela 3 estão apresentados os equipamentos que fazem parte do patrimônio do laboratório 2 contendo suas especificações e os seus respectivos riscos.

**Quadro 3:** Equipamentos pertencentes ao Laboratório 2.

Equipamento	Função	Especificações elétricas	Riscos
<b>Balança Eletrônica</b>	Pesagem das amostras.	Vtagem: 220 v	Ergonômico
<b>Freezer vertical</b>	Congelamento em baixas temperaturas, sendo configurável pelo usuário entre -50 e -86 °C.	Vtagem: 220 v	Riscos Físicos e de Acidente: queimaduras.
<b>Freezer horizontal</b>	Congelamento em baixas temperaturas, sendo configurável pelo usuário entre -50 e -86 °C.	Vtagem: 220 v	Físicos e de Acidente: queimaduras.
<b>Banho Dubnoff (TE-053)</b>	Tratamento térmico de amostras. Temperaturas que variam de 7 a 70 °C.	Vtagem: 220 v	Físico e de acidente: queimadura.
<b>Banho Novatecnica (NT-245)</b>	Tratamento térmico de amostras. Temperaturas que variam de 7 a 70 °C.	Vtagem: 220 v	Físico e de acidente: queimadura.
<b>Colorímetro Colorquest –XE HunterLab.</b>	Análise de cor das amostras através da emissão de feixes de luz.	Vtagem: 220 v	Ergonômico
<b>Destilador nitrogênio (NT 415)</b>	Destilador de Kjeldahl para análise de proteínas	Vtagem: 220 v	Químico e de acidente: queimadura.

**Fonte:** Autora (2021).

Por meio dos equipamentos descritos na Tabela 3, pode-se afirmar que o laboratório apresenta riscos físico, químico, de acidente e ergonômico. Além de apresentar o risco biológico devido ao coronavírus.



Na Tabela 4 estão apresentados os equipamentos que fazem parte do patrimônio do laboratório 3 contendo suas especificações e os seus respectivos riscos.

**Quadro 4:** Equipamentos pertencentes ao Laboratório 3.

Equipamento	Função	Especificações elétricas	Riscos
<b>Balança eletrônica</b>	Pesagem das amostras.	Voltagem: 220 v	Ergonômico
<b>Estufa de esterilização</b>	Secagem e esterilização materiais	Voltagem: 220 v	Físicos e de Acidente: queimadura e choque elétrico
<b>Chapa aquecedora</b>	Chapa aquecedora em faixa de temperatura de 50°C a 300°, variação de +/- 5°C.	Voltagem: 220 v	Riscos Físicos e de Acidente: queimaduras.
<b>Extrator Soxhlet</b>	Extrator de lipídeos.	Voltagem: 220 v	Químico.
<b>Mufla</b>	Carbonização de amostras em temperatura de até 500°C.	Voltagem: 220 v	Físico e de acidente: queimadura.
<b>Dessecador de vidro</b>	Armazenar as amostras sem que ocorra absorção de umidade do ar (Recipiente hermético e com sílica)		Ergonômico e de acidente: corte

**Fonte:** Autora (2021).

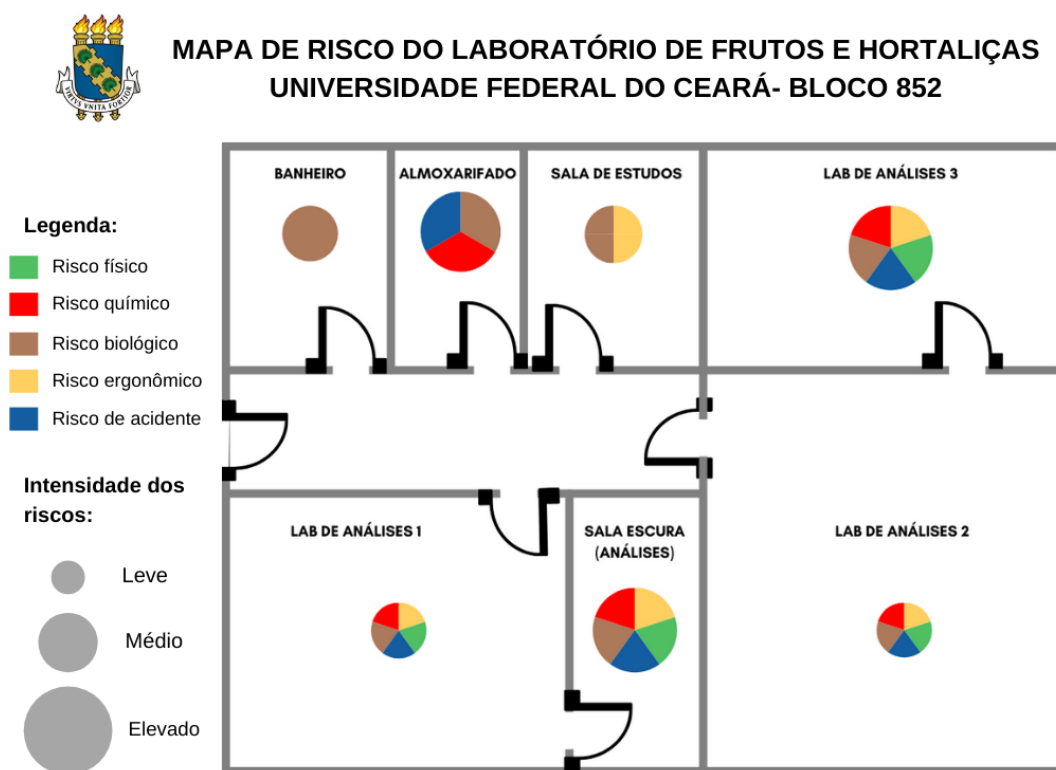
Pode-se observar através dos equipamentos descritos, que os riscos presentes no laboratório são: químicos, ergonômicos, físicos e de acidentes. Além do risco biológico relacionado ao contágio por coronavírus.

No laboratório 3, encontram-se equipamentos que geram mais calor (até 500°C), em que implica em um alto risco de queimadura. Durante o processo de extração de lipídeos, o trabalhador é exposto a risco de acidente (queimadura pela chapa aquecedora e corte por vidraria) e risco químico (por hexano), para minimizar estes riscos deve ser utilizado EP'I para que não ocorra a inalação do reagente químico e uso de luva protetora para que se reduza a possibilidade de queimadura.

A elaboração e implantação e treinamento do mapa de riscos auxiliará na identificação prévia dos riscos existentes e servirá como ferramenta para a conscientização quanto ao uso adequado das medidas preventivas e dos EPC's e EPI's. Facilitando gestão de saúde e segurança no trabalho, além de melhorar o clima organizacional, podendo melhorar a produtividade dos professores, técnicos e o rendimento dos alunos.

A partir destes levantamentos, foi elaborado o mapa de risco dos laboratórios, representado através da Figura 4.


Figura 4: Proposta de mapa de risco para o bloco 852.



Fonte: Autora (2021).

O mapa de risco (Figura 4) exemplifica os riscos existentes no bloco, dentre os quais pode-se afirmar que os maiores riscos estão apresentados na sala escura e no laboratório 3. Contudo, é imprescindível que ocorra a utilização das medidas de controle em todas as áreas dos blocos para garantir a realização das atividades de maneira segura para a saúde e integridade dos trabalhadores. No contexto de pandemia, deve-se destacar como um dos principais riscos o biológico, devido a alta transmissibilidade apresentada pelo vírus. Os usuários dos laboratórios devem ser constantemente alertados com relação a importância do EPI (máscara), da higienização e do distanciamento. Para tanto, deve ocorrer o controle da quantidade de pessoas, que devem trabalhar a partir de um sistema de reversamento, evitando aglomerações no ambiente de trabalho.

Através das observações realizadas, observou-se a presença de alguns equipamentos e objetos com arranjo físico inadequado, de modo que podem interferir na movimentação dos transeuntes, além de não apresentarem uso algum para as atividades desenvolvidas. Logo, estes objetos devem ser avaliados individualmente para que ocorra o destino correto (realocação ou descarte), facilitando o movimento das pessoas e reduzindo o risco de acidentes através da organização do ambiente que deve ser feita com base no sistema 5S.



Um dos fatos mais preocupantes no laboratório é a inexistência de extintores dispostos para caso ocorra incêndios. Percebeu-se também posturas inadequadas dos trabalhadores no desenvolvimento das atividades, podendo gerar doenças ocupacionais.

Estufas e refrigeradores utilizam sistemas com compressores e ventiladores de alta eficiência para que ocorra o funcionamento, produzindo ruído e movimento de ar. Além da centrífuga que também apresenta ruído (inerente do funcionamento), estes ruídos podem ser quantificados posteriormente e caso seja necessário pode ocorrer a inserção de EPI para a redução do impacto dos ruídos. Pela natureza dos equipamentos (secadores e estufas) é gerado calor e o mesmo é adicionado ao ambiente em que o operador está trabalhando, desta maneira o movimento de ar no ambiente aumenta a quantidade de partículas em suspensão no ar, aumentando a quantidade de bactérias e vírus suspensos que pode favorecer as infecções respiratórias, caracterizando a presença dos riscos biológicos. Outro fator relacionado consiste no mecanismo utilizado para a refrigeração do ambiente que é realizado através de ar condicionado, deve ser verificada a possibilidade de circulação do ar natural de maneira conjunta e a regular manutenção e limpeza do equipamento.

Segundo Silva et al. (2021, p.158), para melhorar a qualidade das atividades realizadas e o gerenciamento do tempo, os processos devem ser efetuados de maneira padronizada e eficiente. Porém, essa rotina eficiente, com uma alta demanda de atenção (para a redução de acidentes) e estresse (inerente da rotina laboral), podem impor aos trabalhadores cargas elevadas constantes, muitas vezes sem pausas, podendo desencadear problemas relacionados aos relacionamentos interpessoais e ao sistema osteomuscular. Esse cenário se mostra propício à queda do desempenho funcional, em consequência de fatores como falta de motivação, insatisfação e prejuízos à saúde, tais como tendinites, lesões por esforço repetitivo, lesões por traumas cumulativos ou distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho. Portanto, é essencial a realização de pausas e a observação da saúde do trabalhador como um todo, considerado todos os aspectos relacionados ao ser.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A implementação do mapa de risco é extremamente importante para que ocorra uma visualização mais eficiente dos riscos existentes no ambiente e conscientização dos trabalhadores, minimizando a ocorrência de acidentes e doenças ocupacionais. Para que o ambiente se torne mais seguro, é imprescindível que os trabalhadores tenham atenção durante

suas atividades, além de utilizar os EPI's necessários e manter as medidas preventivas rotineiramente.

Os riscos químicos se destacam dentre os demais riscos observados no laboratório, devido a utilização constante de reagentes químicos durante as análises realizadas no laboratório. Porém, também verifica-se a presença de riscos ergonômicos (devido a realização de atividades repetitivas, postura inadequada e longos períodos de trabalho de pé) e de riscos de acidentes (queimaduras e cortes por vidrarias).

Observando os riscos presentes nos laboratórios avaliados, percebe-se que no momento atual o risco que se sobrepõe aos demais é o biológico, devido a crise sanitária atual (provocada pelo coronavírus), para proporcionar a redução deste risco deve ocorrer o controle do número de pessoas que utilizam os laboratórios, sendo estabelecido um cronograma para proporcionar o reversamento adequado e evitar conseqüentemente as aglomerações. Ainda pode-se destacar a importância da utilização dos equipamentos de proteção individual, que deve ser utilizada de maneira obrigatória por todos os transeuntes e usuários.

## REFERÊNCIAS


ARRUDA, Heder Jobbins de. **Elaboração de mapas de riscos para os laboratórios de química da UTFPR Câmpus Ponta Grossa**. 2015. 67. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química. Ponta Grossa: UTFPR, 2015. 67p.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora**. NR17 – Ergonomia. 1978. Disponível em : <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-17-nr-17>>. Acesso em 15 de Setembro de 2021.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora**. NR9 - Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. 1994. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-09-atualizada-2019.pdf>> Acesso em: 15 de Setembro de 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Manual Técnico**. Notificação de acidentes do trabalho fatais, graves e com crianças e adolescentes, 2006. Disponível em: <[https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/06\\_0442\\_M.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/06_0442_M.pdf)>. Acesso em: 14 de Setembro de 2021.

BRASIL. Ministério da Economia. **Medida Provisória nº 927**, de 22 de março de 2020. Dispõe sobre as medidas trabalhistas para enfrentamento do estado de calamidade pública e da emergência de saúde pública de importância internacional decorrente do coronavírus (covid-19), e dá outras providências, 2020. Disponível em: < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/>



/medida-provisoria-n-927-de-22-de-marco-de-2020-249098775>. Acesso em: 15 de Setembro de 2021.

FERREIRA, Aldo Pacheco et al. Revisão da literatura sobre os riscos do ambiente de trabalho quanto às condições laborais e o impacto na saúde do trabalhador. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, v.16, n.3, p. 360-370, 2018. doi: 10.5327/Z1679443520180267

GALLASCH, Cristiane Helena et al. Prevalência de testagem para COVID-19 entre trabalhadores da saúde atuantes na assistência a casos suspeitos e confirmados. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, São Paulo, v.19, n.2, p.209-2013, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.47626/1679-4435-2020-722>

SILVA, Débora Nayara Féliz Barbosa da Silva et al. Influência da ginástica laboral no desempenho cognitivo de trabalhadores. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, São Paulo, v.19, n.2, p.157-164, 2021. doi: 10.47626/1679-4435-2021-573

# CAPÍTULO 5

## SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE $\text{BiVO}_4$ : INFLUÊNCIA DO pH NA FORMAÇÃO DAS HOMOJUNÇÕES E NO DESEMPENHO FOTOCATALÍTICO<sup>4</sup>

**Caroline Santana dos Santos**  
**Beatriz Caetano Benuto**  
**Rafael Junqueira Leal**  
**Raul Zanchet**  
**Marcelo Zampieri**  
**Roberto de Matos**

### RESUMO

Dentre os semicondutores aplicados à fotocatalise, destaca-se o  $\text{BiVO}_4$  devido a sua não toxicidade, somado a sua alta eficiência em fotodegradação de poluentes sob irradiação por luz visível. O  $\text{BiVO}_4$  apresenta três diferentes fases cristalinas: monoclinica do tipo *schelite*, tetragonal do tipo *zircon* e tetragonal do tipo *schelite*, sendo a fase monoclinica a de melhor desempenho fotocatalítico quando comparada as demais fases. Além disso, estudos apontam que a mistura de fases pode intensificar este desempenho, uma vez que o contato entre as diferentes fases proporciona uma separação mais efetiva dos portadores de cargas fotogerados. Diante disto, o objetivo do trabalho foi sintetizar o material  $\text{BiVO}_4$  com diferentes proporções de fases cristalinas, empregando o método hidrotérmico e avaliar o desempenho fotocatalítico dos materiais frente à descoloração do corante azul de metileno sob irradiação de luz visível. Para a síntese dos materiais, foram preparadas duas soluções distintas, uma contendo  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  em uma solução de  $\text{NaOH}$   $2 \text{ mol L}^{-1}$  e outra contendo  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  em uma solução de  $\text{HNO}_3$   $2 \text{ mol L}^{-1}$ . Após a mistura das soluções, o pH foi ajustado para os valores desejados, obtendo assim as suspensões precursoras. Cada suspensão foi submetida à autoclave, mantida a  $140 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 6 h. Análises dos difratogramas por refinamento Rietveld indicaram que o pH influenciou na formação das fases cristalinas de  $\text{BiVO}_4$ , uma vez que o material BV\_1 (sem ajuste de pH) apresentou apenas picos referentes à fase tetragonal, já o material BV\_5 (pH = 8,53) teve apenas picos referentes a fase monoclinica, e os demais materiais apresentaram picos referentes às duas fases cristalinas em concentrações em massas distintas. Imagens de MEV mostram que o pH influenciou diretamente na morfologia. Com maior concentração da fase tetragonal constatou-se partículas esféricas, enquanto com maior concentração de fase monoclinica foi observado partículas irregulares. O pH também influenciou nas propriedades texturais e fotocatalíticas. De acordo com os resultados de fotodegradação, a amostra BV\_2 apresentou o melhor desempenho fotocatalítico, fator atribuído à homojunção formada entre as fases monoclinica (35%) e tetragonal (65%), na respectiva proporção presentes nesta amostra, uma vez que o elétron excitado para a banda de condução do  $\text{BiVO}_4$  monoclinico pode migrar para a banda de condução do  $\text{BiVO}_4$  tetragonal diminuindo a recombinação do par elétron-buraco. O controle do pH da solução precursora se mostrou necessário e importante para a obtenção de  $\text{BiVO}_4$ , sintetizado pela rota hidrotérmica, com propriedades cristalinas, morfológicas, texturais e fotocatalíticas de interesse.

<sup>4</sup> Programa fomentador: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)

**PALAVRAS-CHAVE:** Fotocatalisador; Método hidrotérmico; Fotocatálise; Heteroestrutura.

## INTRODUÇÃO

A fotocatalise, baseada em semicondutores constituídos de óxidos metálicos, atrai grande atenção devido à sua capacidade de produzir combustíveis solares, como hidrogênio e hidrocarbonetos, e ser utilizada na degradação de espécies poluentes. Além disso, a maioria desses óxidos são naturalmente abundantes, não tóxicos e de baixo custo. No entanto, grande parte das reações fotocatalíticas possuem ainda baixa eficiência relativa devido à rápida recombinação dos portadores de cargas, elétron ( $e^-$ ) e buraco ( $h^+$ ), fotogerados e baixo desempenho sob luz visível. (LOW *et al.*, 2017).

Recentemente, vários estudos experimentais e teóricos sobre tratamento e modificação de superfície dos semicondutores foram relatados (KIM, J. H. *et al.*, 2019; LI, W. *et al.*, 2018; XU, J. *et al.*, 2008). Dentre as estratégias utilizadas para superar as limitações do material fotocatalisador único (puro) está a formação de heterojunções e homojunções em um único material fotocatalisador (YANG *et al.*, 2019), sendo a heterojunção constituída pelo acoplamento de dois ou mais semicondutores diferentes (LI, L.-P.; LIU; ZHANG, 2018) e a homojunção é constituída pela junção de diferentes fases cristalinas de um único semicondutor (YANG *et al.*, 2019). Esta abordagem permite que diferentes propriedades favoráveis de cada composto participante sejam combinadas, ocasionando a ampliação da faixa de absorção do espectro visível, a redução da recombinação do par  $e^-h^+$  e aumento da estabilidade da fotocorrosão, melhorando assim o desempenho desses fotocatalisadores (AFROZ *et al.*, 2018).

Dentre os materiais semicondutores empregados como fotocatalisadores, o vanadato de bismuto,  $\text{BiVO}_4$ , tem se destacado principalmente por sua dispersibilidade em diferentes solventes, não toxicidade, resistência à corrosão e como promissor candidato para a geração de hidrogênio via *water splitting* (MALATHI *et al.*, 2018; WANG, Z.; HUANG; WANG, 2019). O uso do  $\text{BiVO}_4$  como fotocatalisador foi reportado na literatura primeiramente por Kudo e colaboradores em 1998 (KUDO *et al.*, 1998) e, desde então, a atividade fotocatalítica desse óxido tem sido extensivamente estudada (MALATHI *et al.*, 2018; PARK; MCDONALD; CHOI, 2013; WANG, Z.; HUANG; WANG, 2019). O  $\text{BiVO}_4$  apresenta comumente três fases cristalinas: monoclinica do tipo *scheelite* (grupo espacial  $I2/a$ ), tetragonal do tipo *zircon* (grupo espacial  $I4_1/amd$ ) e tetragonal do tipo *scheelite* (grupo espacial  $I4_1/amd$ ) (NAGABHUSHANA; TAVAKOLI; NAVROTSKY, 2015; WANG, Z.; HUANG; WANG, 2019).

Embora a fase monoclinica apresente uma melhor atividade fotocatalítica sob irradiação por luz visível ( $E_{gap} \sim 2,4$  eV), principalmente quando comparada a fase tetragonal do tipo *zircon* ( $E_{gap} \sim 2,9$  eV), a recombinação dos portadores de cargas foto gerados ainda é uma limitação. Para superar essa barreira, pesquisas têm apostado na metodologia e parâmetros de síntese que possibilitam o controle morfológico (MENG, L.-Y. *et al.*, 2016), dopagem com elementos metálicos (WANG, M. *et al.*, 2017) e não metálicos (GUO *et al.*, 2015), combinação de diferentes semicondutores (WANG, W. *et al.*, 2013), e a proporção ideal de diferentes fases cristalinas de um mesmo semicondutor (YAN *et al.*, 2015; ZHANG, L. *et al.*, 2012).

Atualmente, metodologias e rotas de sínteses como a síntese por combustão (SERAFIM *et al.*, 2014), hidrotérmica (OBREGÓN; CABALLERO; COLÓN, 2012; ZHANG, L. *et al.*, 2012), hidrotérmica assistida por micro-ondas (YAN *et al.*, 2015), solvotérmica (WANG, M. *et al.*, 2017), sol-gel (WANG, M. *et al.*, 2015), *electrospinning* (LIU *et al.*, 2015), rota-aquosa (YIN *et al.*, 2010) e co-precipitação (SUWANCAHALIT; BUDDEE; WONGNAWA, 2017) são empregadas para a obtenção de  $\text{BiVO}_4$ . A síntese hidrotérmica tem se destacado dentre estes métodos, possibilitando se trabalhar em temperaturas relativamente baixas, tempos curtos de reação, pH controlável, entre outros parâmetros. Além disso, permite o controle da estrutura cristalina, morfologia e energia de *band gap*.

Meng e colaboradores (MENG, X. *et al.*, 2011) sintetizaram nanopartículas de  $\text{BiVO}_4$  com diferentes morfologias usando o método hidrotérmico com adição do surfactante P123 ( $\text{PEO}_{20}\text{PPO}_{70}\text{PEO}_{20}$ ) e os desempenhos fotocatalíticos foram avaliados frente à degradação do corante azul de metileno sob condições de luz visível (lâmpada de Xênon 300 W). Neste trabalho, sob condições hidrotérmicas diferentes (pH = 1, 6, 9 ou 10), concluiu-se que a temperatura de síntese, o pH e o surfactante têm um impacto significativo na morfologia e eficiência do produto formado, sendo que o material sintetizado com morfologia tubular apresentou melhor desempenho fotocatalítico, fator atribuído às maiores áreas específicas e concentrações de defeitos de oxigênio na região interfacial  $\text{BiVO}_4$ /solução.

Em outro trabalho, Zhang e colaboradores (ZHANG, A. *et al.*, 2009) sintetizaram  $\text{BiVO}_4$  empregando o método hidrotérmico sem a adição de surfactantes. A temperatura foi mantida a 180 °C durante 6 h e o pH foi variado. A atividade fotocatalítica dos materiais sintetizados foi avaliada por meio da descoloração do corante alaranjado de metila sob irradiação de luz visível (lâmpada de Xênon 500 W). Os resultados indicaram que os valores de pH das soluções precursoras afetaram fortemente a estrutura e a morfologia do material formado. Logo, influenciaram também na atividade fotocatalítica do  $\text{BiVO}_4$ .



Neste contexto, ainda não são descritos trabalhos sobre a síntese de  $\text{BiVO}_4$  por método hidrotérmico utilizando temperaturas abaixo de  $180\text{ }^\circ\text{C}$  e sem a adição de surfactantes, que apresentem resultados satisfatórios frente a descoloração de corantes sob fonte de luz visível de baixa potência ( $<300\text{ W}$ ), neste trabalho é mostrado a influência do pH de síntese na obtenção de  $\text{BiVO}_4$  empregando a síntese hidrotérmica. Os materiais obtidos foram caracterizados por difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura, análise textural, e espectroscopia de reflectância difusa.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Síntese de $\text{BiVO}_4$ com diferentes proporções de fases cristalinas por método hidrotérmico

Para a síntese de  $\text{BiVO}_4$  foram preparadas duas soluções distintas, uma contendo  $8\text{ mmol}$  de metavanadato de amônio ( $\text{NH}_4\text{VO}_3$ ) dissolvido em solução de hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ )  $2\text{ mol L}^{-1}$  e outra contendo  $8\text{ mmol}$  de nitrato de bismuto pentahidratado ( $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) dissolvido em solução de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ )  $2\text{ mol L}^{-1}$ . Estas soluções foram agitadas separadamente durante  $30\text{ min}$  em temperatura ambiente. Na sequência, as duas soluções foram misturadas e agitadas por mais  $150\text{ min}$ , em seguida o pH foi ajustado para o valor desejado (Tabela 1). Cada suspensão obtida foi submetida à autoclave com taxa de aquecimento de  $5\text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$  e mantida a  $140\text{ }^\circ\text{C}$  durante  $6\text{ h}$  (metodologia hidrotérmica). Após resfriamento, os materiais foram lavados com água destilada e secos em estufa a  $45\text{ }^\circ\text{C}$  durante  $24\text{ horas}$ . O  $\text{BiVO}_4$  obtido sem ajuste de pH e sem passar pelo sistema hidrotérmico (Tabela 1, BV\_1) também foi avaliado.

**Tabela 1:** Valores de pH ajustados (exceto para BV\_1) das soluções precursoras de  $\text{BiVO}_4$  e submetidos à tratamento hidrotérmico durante  $6\text{ horas}$  a  $140\text{ }^\circ\text{C}$ .

Amostra	BV 1	BV 2	BV 3	BV 4	BV 5	BV 6
pH da solução precursora	0,83 (como precipitada)	1,4	5,0	7,8	8,5	12

Fonte: autoria própria, 2022

### Caracterização dos materiais

As análises de cristalinidade dos materiais foram realizadas por meio de difrações de raios X seguido de refinamento pelo método de Rietveld nos respectivos difratogramas. Os difratogramas de raios X foram obtidos na configuração Bragg-Brentano em um difratômetro *Panalytical X'Pert PRO MPD*, usando radiação  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda = 1,54\text{ \AA}$ ) em  $2\theta$  com range de  $15\text{-}90^\circ$ , passo de tempo de  $3,0\text{ s}$  por ponto e passo angular de  $0,02^\circ$ .

Como todos os materiais sintetizados apresentaram elevada cristalinidade, foi possível determinar suas composições químicas, parâmetros de rede, entre outras informações cristalográficas. As identificações de fases e os refinamentos pelo método de Rietveld foram realizados usando-se o programa computacional *X'Pert HighScore Plus*. O tamanho de cristalito também foi calculado por meio da equação de Scherrer (Equação 1):

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo  $D$  o tamanho de cristalito (nm),  $\lambda$  o comprimento de onda da radiação de raios X ( $\text{CuK}\alpha$ ),  $k$  é uma constante adimensional (0,9),  $\beta$  é a largura a meia altura do pico de difração de fase monoclinica ou tetragonal após corrigir o alargamento instrumental, e  $\theta$  é o ângulo de difração de Bragg. A correção do alargamento instrumental foi feita com silício como padrão externo.

As análises morfológicas dos materiais foram realizadas por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e as imagens foram obtidas em um microscópio eletrônico de varredura FEI 46 QUANTA 200 e aumentos de 12000 e 50000 vezes.

Para determinação dos valores de *band gap* foram realizadas caracterizações por Espectroscopia de Reflectância Difusa (ERD) utilizando um espectrofotômetro ultravioleta-visível *Shimadzu (UV-2600)* em um range de 200-800 nm.

A avaliação da área específica e porosidade dos materiais também foram realizadas. Os parâmetros texturais foram calculados por meio das isotermas de adsorção-dessorção de gás  $\text{N}_2$  a 77,4 K em um equipamento *Quantachrome Nova 1200e* acoplado a um analisador automático de gases. Para esta etapa foram pesados 300 mg dos materiais, que foram secos durante 2 h a 120 °C sob vácuo para a remoção de água. Após secagem, o tubo foi transferido para a parte analisadora do equipamento e as análises foram realizadas.

## Experimentos fotocatalíticos

As atividades fotocatalíticas dos materiais de  $\text{BiVO}_4$  foram determinadas frente a descoloração do corante orgânico azul de metileno (AM) sob irradiação de luz visível (57 W). Para isso, 25 mg de material foram disperso em 250 mL de solução do corante AM com concentração de  $6,0 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ . Cada suspensão foi agitada magneticamente no escuro durante 60 min (equilíbrio de adsorção-dessorção) e, após este tempo, a solução ficou sob luz visível durante 90 min. Alíquotas de 3 mL foram retiradas a cada 30 min de reação e centrifugadas para decantação das partículas dos fotocatalisadores. As concentrações de AM

foram monitoradas por meio da banda de absorção em 664 nm com um espectrofotômetro UV-vis (Hitachi U-3000).

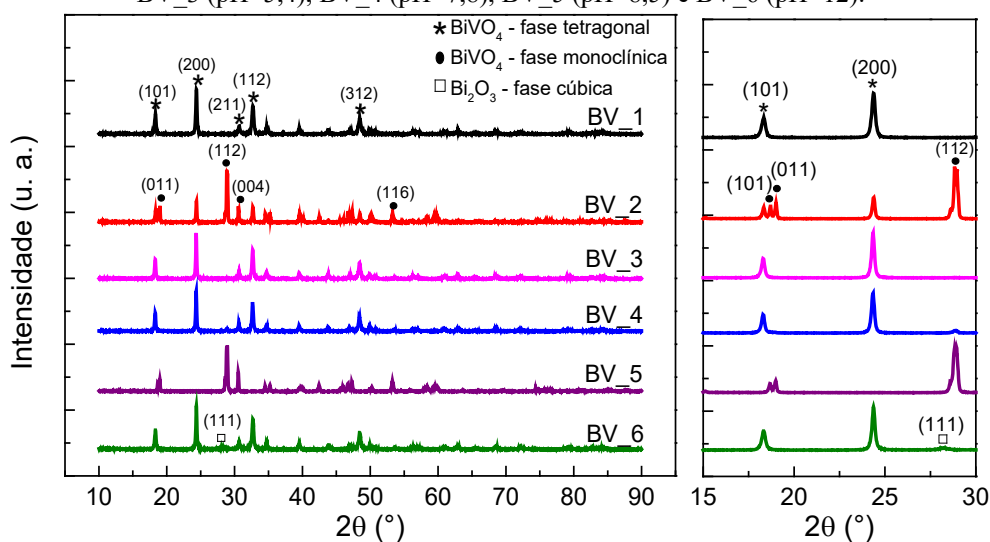
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização dos materiais sintetizados

#### *Estreutura e composição do $\text{BiVO}_4$*

As sínteses realizadas pelo sistema hidrotérmico em diferentes valores de pH, utilizando  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  como precursores de  $\text{BiVO}_4$ , a uma temperatura de 140 °C durante 6 horas, forneceram materiais cristalinos, como mostrado nos difratogramas de raios X dispostos na Figura 1.

**Figura 1:** Difratogramas de raios X dos materiais de  $\text{BiVO}_4$  sintetizados: BV\_1 (pH=0,83), BV\_2 (pH=1,4), BV\_3 (pH=5,4), BV\_4 (pH=7,8), BV\_5 (pH=8,5) e BV\_6 (pH=12).



Fonte: autoria própria, 2022.

Valores para parâmetros de rede  $a$ ,  $b$  e  $c$ , volume da cela unitária ( $V_{\text{cela}}$ ) e proporções em massa das fases cristalinas presentes, todos determinados por refinamento dos difratogramas pelo método de Rietveld, são mostrados na Tabela 2, assim como o fator de qualidade do refinamento ( $\chi^2$ ) e tamanho de cristalito ( $D$ ) determinado pela equação de Scherrer.

**Tabela 2:** Fases cristalinas, parâmetros de rede e volume de cela unitária ( $V_{cela}$ ) obtidos pelo refinamento pelo método de Rietveld dos difratogramas e tamanho de cristalito ( $D$ ) determinado pela equação de Scherrer para os materiais de  $\text{BiVO}_4$  sintetizados pelo método hidrotérmico.  $\chi^2$  é o fator de qualidade do refinamento.

Amostra	Fase cristalina	Concentração (% em massa)	Parâmetros de rede (Å)	$V_{cela}$ (pm <sup>3</sup> )	$D$ (nm)	$\chi^2$
BV_1 pH 0,8 como ppt	Tetragonal	100,0	$a = b = 7,300375$ $c = 6,458650$	344,21680	38,7	3,64
BV_2 pH 1,4	Tetragonal	35,0(2)	$a = b = 7,301393$ $c = 6,459630$	344,36500	63,2	3,15
	Monoclínica	65,0(3)	$a = 7,249401$ $b = 11,698750$ $c = 5,091203$	309,33840	61,9	
BV_3 pH 5,4	Tetragonal	98,8(4)	$a = b = 7,308874$ $c = 6,463861$	345,29710	48,7	3,53
	Monoclínica	1,2(1)	$a = 7,2468(4)$ $b = 11,7773(5)$ $c = 5,0040(3)$	309,13760	22,0	
BV_4 pH 7,8	Tetragonal	95,2(4)	$a = b = 7,301888$ $c = 6,45892$	344,37420	45,5	2,89
	Monoclínica	4,8(1)	$a = 7,251420$ $b = 11,697400$ $c = 5,090251$	309,21170	39,2	
BV_5 pH 8,5	Monoclínica	100,0	$a = 7,250656$ $b = 11,700660$ $c = 5,093120$	309,54290	50,5	5,42
BV_6 pH 12	Tetragonal	95,4(4)	$a = b = 7,303290$ $c = 6,461230$	344,62940	50,8	3,71
	$\text{Bi}_2\text{O}_3$ Cúbico	4,6(1)	$a = b = c = 5,468534$	163,53580	16,4	

Fonte: autoria própria, 2022.

Os valores de pH das soluções precursoras influenciaram diretamente na formação das fases cristalinas do  $\text{BiVO}_4$ . A amostra BV\_1, cujo pH não sofreu alteração e não foi submetida ao sistema hidrotérmico, apresentou alta cristalinidade e todos os picos de difração foram atribuídos ao  $\text{BiVO}_4$  com fase tetragonal (cartão PDF: 00-014-0133), não apresentando picos referentes a fase monoclínica.

Para a amostra BV\_5 todos os picos foram atribuídos ao  $\text{BiVO}_4$  monoclínico (cartão PDF: 00-014-0688). Nas demais amostras, exceto BV\_6, foi observado misturas entre fases tetragonal e monoclínica identificadas em proporções variáveis. Nestes materiais não foram identificados picos referentes a outros compostos além de  $\text{BiVO}_4$ , assim como impurezas.

A influência do pH na formação de fases cristalinas de BiVO<sub>4</sub> pode ser explicado por meio das reações químicas (Equações 2 e 3) que acontecem durante o processo de síntese (ZHANG, A. *et al.*, 2009; ZHANG, L. *et al.*, 2012; ZHOU *et al.*, 2007).



De acordo com a Equação 2, Bi(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> reage com a água para formar o composto oxinitrato de bismuto (BiONO<sub>3</sub>) levemente solúvel, que conseqüentemente reage com metavanadato (VO<sub>3</sub><sup>-</sup>), formando o precipitado amarelo BiVO<sub>4</sub> (ZHANG, A. *et al.*, 2009). A concentração e velocidade de formação de BiONO<sub>3</sub> são os principais fatores para a obtenção de BiVO<sub>4</sub> em determinada fase. Em pHs menores, a concentração de BiONO<sub>3</sub> é baixa e leva a uma lenta formação do BiVO<sub>4</sub>, assim, mesmo que BiVO<sub>4</sub> monoclinico seja termodinamicamente mais estável que o BiVO<sub>4</sub> tetragonal à temperatura ambiente, a formação do BiVO<sub>4</sub> tetragonal parece ser mais viável cineticamente por uma diminuição no pH do precursor (ZHANG, A. *et al.*, 2009; ZHANG, L. *et al.*, 2012). Isso sugere que a dissolução e a subsequente recristalização que ocorrem na solução de baixo pH contribuem para a transformação das fases. A formação de fase tetragonal a partir da solução precursoras com pHs maiores também foi evidenciada (TOKUNAGA; KATO; KUDO, 2001; ZHOU *et al.*, 2007).

Dependendo do meio reacional, pode ocorrer a perda do precursor de vanádio por meio da volatilização (ZHANG, A. *et al.*, 2009), favorecendo a formação de óxidos de bismuto, como evidenciado na amostra BV\_6 (pH 12), no qual, além de picos referentes à fase tetragonal de BiVO<sub>4</sub>, há um pico em 28,3° que pode ser atribuído ao Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (cartão PDF: 01-076-2478) com estrutura cristalina cúbica e concentração em massa de 4,1%, determinada pelo refinamento.

Além da formação da fase de BiVO<sub>4</sub>, o pH de síntese influencia diretamente nos parâmetros cristalográficos dos óxidos obtidos, ou seja, no crescimento dos nanocristais de BiVO<sub>4</sub> (WANG, B.; GUO; HE, 2016). Materiais com baixas concentrações de fase monoclinica apresentaram parâmetro de rede *c* menor para esta fase, como visto para a amostra BV\_3, que é composta de 1,2% de fase monoclinica. Conforme a concentração da fase monoclinica aumenta, o valor do parâmetro *c* também cresce. Além disso, materiais com baixas concentrações desta fase também apresentaram menores valores para tamanho de cristalito, fator que pode influenciar diretamente nas propriedades fotocatalíticas dos materiais.

Dentre os materiais contendo homojunções entre fases tetragonal e monoclinica, a amostra BV\_3 (pH 5,4) apresentou os maiores valores de parâmetros de rede e volume de cela

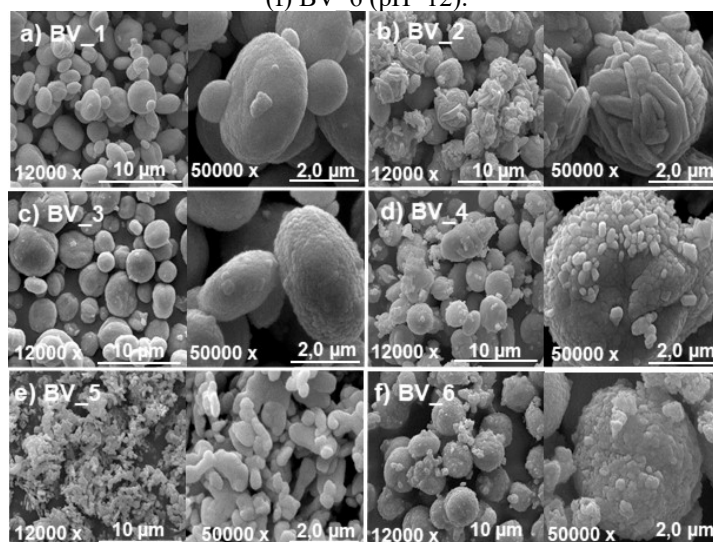
unitária para a fase tetragonal. A amostra BV\_2 apresentou maior tamanho de cristalito tanto para a fase monoclinica, quanto para a fase tetragonal, enquanto a amostra BV\_1, que não foi submetida ao sistema hidrotérmico e composta apenas pela fase tetragonal, apresentou um menor valor para este parâmetro.

Com base nos resultados de DRX foi evidenciado que, tanto a formação das fases cristalinas de  $\text{BiVO}_4$  quanto suas proporções em massa, foram significativamente influenciadas pelo valor de pH da solução precursora, submetida ao sistema hidrotérmico.

### **Análise morfológica**

A análise morfológica das amostras sintetizadas foi realizada por meio de imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), mostradas na Figura 2.

**Figura 2:** Imagens de MEV para os materiais de  $\text{BiVO}_4$  sintetizados em diferentes valores de pH do meio reacional (a) BV\_1 (pH=0,8), (b) BV\_2 (pH=1,4), (c) BV\_3 (pH=5,4), (d) BV\_4 (pH=7,8), (e) BV\_5 (pH=8,5) e (f) BV\_6 (pH=12).



Fonte: Autoria própria, 2022.

O pH do meio reacional também alterou de maneira significativa a morfologia dos materiais obtidos. Como mostrado na Figura 2(a), 2(c), 2(d) e 2(f), materiais contendo majoritariamente a fase tetragonal apresentaram morfologia globular contendo partículas de tamanhos variados e inferiores a  $5 \mu\text{m}$ . A amostra BV\_1, como precipitada (Figura 2(a)), apresentou partículas com superfície menos rugosa quando comparada aos demais materiais onde a fase tetragonal encontrou-se predominante. Logo, sugere-se que partículas contendo maior concentração relativa da fase tetragonal apresentaram morfologia esférica de tamanhos variados, provavelmente ocasionado devido ao rápido crescimento dos cristais em baixos valores de pH devido a elevada concentração de  $\text{H}^+$  no meio reacional (LEI *et al.*, 2014).

Material contendo majoritariamente a fase cristalina monoclinica, como mostrado na Figura 2(b), notou-se o aparecimento de estruturas com morfologias indefinidas recobrando particulados maiores. Isso provavelmente se deve à presença de ambas as fases cristalinas (tetragonal e monoclinica) no material, uma vez que, a morfologia do BiVO<sub>4</sub> monoclinico possuiu este formato, como observado na Figuras 2(e).

Por fim, o material BV\_6, Figura 2(f), referente à amostra contendo Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em sua composição, apresentou também a predominância de particulados com morfologia esférica, parcialmente recobertos por estruturas menores, e com superfície relativamente mais rugosa quando comparada à de materiais contendo a fase tetragonal.

De maneira geral, a morfologia do óxido BiVO<sub>4</sub> sofreu significativas alterações devido diferentes proporções de fases tetragonal ou monoclinica presentes na composição de cada material. A fase tetragonal influenciou na formação de partículas com morfologia esférica e a fase monoclinica na formação de estruturas irregulares e de tamanhos variados.

### ***Propriedades ópticas e elétricas***

Espectroscopia de reflectância difusa UV-vis foi utilizada para determinar as propriedades de absorção óptica das amostras por meio do cálculo da energia de *band gap*. Na Figura 3(a) é mostrado os espectros de reflectância difusa dos materiais sintetizados registrado na faixa de comprimento de onda de 200 a 800 nm. O valor de *band gap* foi estimado de acordo com a Equação 4:

$$\alpha(h\nu) \approx B(h\nu - E_{gap})^n \quad \text{Eq. 4}$$

No qual  $B$  é uma constante de absorção,  $h$  é a constante de Planck ( $6,62 \times 10^{-34}$  J s),  $\nu$  é a frequência da luz ( $s^{-1}$ ),  $E_{gap}$  é a energia de band gap e  $n$  o tipo de transição eletrônica do material, sendo  $n = 1/2$  transição direta permitida e  $n = 2$  transição indireta permitida (DOLIC *et al.*, 2018; ESCOBEDO-MORALES *et al.*, 2019; LÓPEZ; GÓMEZ, 2012). O coeficiente de extinção ( $\alpha$ ) nesta equação é proporcional à função de Kubelka-Munk ( $F(R)$ ) (PHILIPS-INVERNIZZI, 2001) mostrada na Equação 5, sendo  $R$  o valor de reflectância observada.

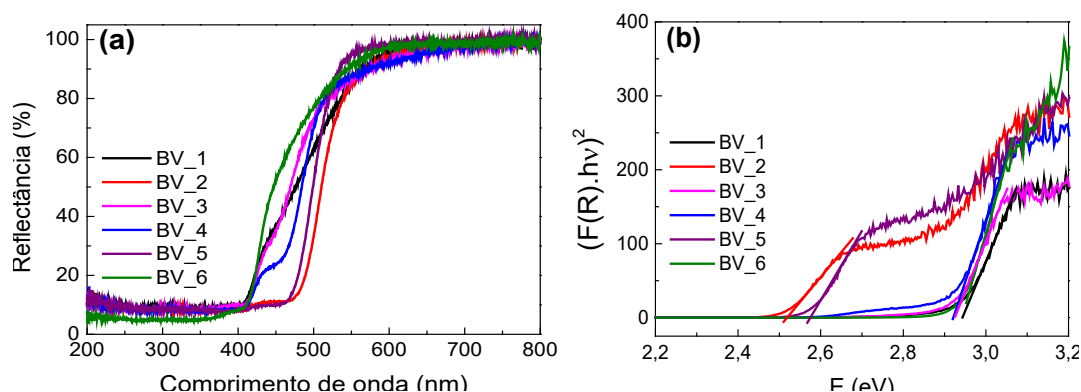
$$F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad \text{Eq. 5}$$

Por meio do gráfico de  $(F(R) h\nu)^{1/n}$  versus  $E_{gap}$ , representação conhecida como método Tauc (LÓPEZ; GÓMEZ, 2012) é possível estimar o valor de  $E_{gap}$ .

Na Figura 3(a) são apresentados os espectros de reflectância (R) dos materiais em função do comprimento de onda, nos quais, a alta porcentagem de R indica uma baixa absorção no respectivo comprimento de onda. Na Figura 3(b) está contido os gráficos da função modificada de Kubelka-Munk  $(F(R)hv)^2$  em função da energia (E), utilizado na determinação de  $E_{gap}$  das amostras por meio da extrapolação de uma reta até o eixo x.

Para o óxido  $\text{BiVO}_4$  utilizou-se  $n=1/2$  na função modificada de Kubelka-Munk, indicando uma transição permitida direta. Para o  $\text{BiVO}_4$  monoclinico a hibridização entre os orbitais 6s do Bi e os orbitais 2p do O localizados no máximo da banda de valência acoplado ao orbitais vazios 3d do V localizados no mínimo da banda de condução é o que mantém as transições eletrônicas diretas favoráveis, além de serem responsáveis pelo menor valor de energia de *gap* da fase monoclinica e alta mobilidade dos buracos fotoexcitados (KUDO; OMORI; KATO, 1999; PAYNE *et al.*, 2011; WALSH *et al.*, 2009), favorecendo a oxidação fotocatalítica de poluentes orgânicos (ZHANG, A. *et al.*, 2009).

**Figura 3:** (a) Espectros de reflectância difusa UV-vis das amostras de  $\text{BiVO}_4$  sintetizadas pelo método hidrotérmico e (b) gráficos da função modificada de Kubelka-Munk *versus* energia.



Fonte: autoria própria, 2022.

Diferente da fase monoclinica, na fase tetragonal a transição eletrônica entre a banda de valência (BV) e a banda de condução (BC) não ocorre entre os orbitais hibridizados do Bi, mas sim entre o orbital 2p do O para o 3d do V localizado na BC, resultando em um *band gap* de aproximadamente 2,9 eV e uma absorção principalmente na região do UV. Para o  $\text{BiVO}_4$  monoclinico o valor de *band gap* se encontra na faixa de 2,33-2,50 eV (MALASHCHONAK *et al.*, 2017), apresentando uma banda de absorção de luz nas regiões do visível e UV (ZHANG, A. *et al.*, 2009).

Na Tabela 3 são apresentados os valores estimados de energia de *band gap* determinadas a partir do gráfico mostrado na Figura 3(b) para as amostras de  $\text{BiVO}_4$  sintetizadas.



Os valores de  $E_{gap}$  para as amostras com predominâncias de fases monoclinicas e tetragonais, inferidos pelas análises de DRX, foram próximos aos valores já reportados na literatura, de aproximadamente 2,4 eV e 2,9 eV, respectivamente (LEI *et al.*, 2014, 2015; MA; LI; LIU, 2015; WANG, B.; GUO; HE, 2016; YAN *et al.*, 2015; ZHANG, A. *et al.*, 2009). As energias de *band gap* sofreram pequenas variações entre as amostras, uma vez que esta propriedade dos materiais, assim como outras propriedades físicas e químicas, pode ser influenciada por fatores como rota ou método de síntese, dopagem, estrutura cristalina, vacâncias de átomos na estrutura e tamanho de partículas (ESCOBEDO-MORALES *et al.*, 2019; ZHANG, X. *et al.*, 2018; ZHANG, Y. *et al.*, 2016).

### **Propriedades texturais**

Utilizando a técnica de fisissorção de gás nitrogênio sob temperatura de nitrogênio líquido (77 K), foi realizada a análise textural dos materiais sintetizados. Os valores de área de superfície específica ( $S_{BET}$ ) de todos os materiais sintetizados, calculados pelo método de BET, assim como volume de poro e diâmetro médio de poro, ambos calculados pelo método de BJH, são mostrados na Tabela 3.

**Tabela 3:** Energias de *band gap* ( $E_{gap}$ ) obtidas pela extrapolação da função linear até o eixo x obtidas por  $(F(R)hv)^2$  versus  $E_{gap}$  e valores de área específica ( $S_{BET}$ ), volume de poro ( $V_p$ ) e diâmetro médio de poro obtidos por adsorção-dessorção física de nitrogênio gasoso a 77,4 K.

Amostra	ERD	Análise textural		
	Band gap (eV) n = 1/2	$S_{BET}$ (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	$D_p$ (nm)	$V_p$ (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> )
BV 1	2,92	1,9	4,2	0,012
BV 2	2,48	1,6	3,8	0,020
BV 3	2,90	1,6	9,3	0,007
BV 4	2,89	3,4	16,5	0,026
BV 5	2,54	3,0	3,1	0,013
BV 6	2,92	4,9	3,8	0,037

Fonte: autoria própria, 2022.

De acordo com os dados da Tabela 3, os materiais exibiram uma distribuição de diâmetro médio de poro entre 3,1 e 16,5 nm, confirmando que são adsorventes mesoporosos independentes da estrutura cristalina apresentada. Em relação à  $S_{BET}$ , os valores obtidos variaram entre 1,6 e 4,9 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>, e estão condizentes com dados reportados na literatura nos últimos 20 anos, onde foram relatados BiVO<sub>4</sub> obtidos por diferentes métodos com área específica variando entre 1 e 8 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (DOLIC *et al.*, 2018; LEI *et al.*, 2015; NAGABHUSHANA; TAVAKOLI; NAVROTSKY, 2015; OBREGÓN; CABALLERO; COLÓN, 2012; ZHANG, A. *et al.*, 2009). Foi constatado também que a amostra BV\_6 possuiu

o maior valor de  $S_{BET}$  ( $4,9 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) dentre os materiais, propriedade que pode ter sido influenciada pela presença de  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  em uma concentração em massa de 4,6%, identificada apenas nesta amostra (Tabela 02).

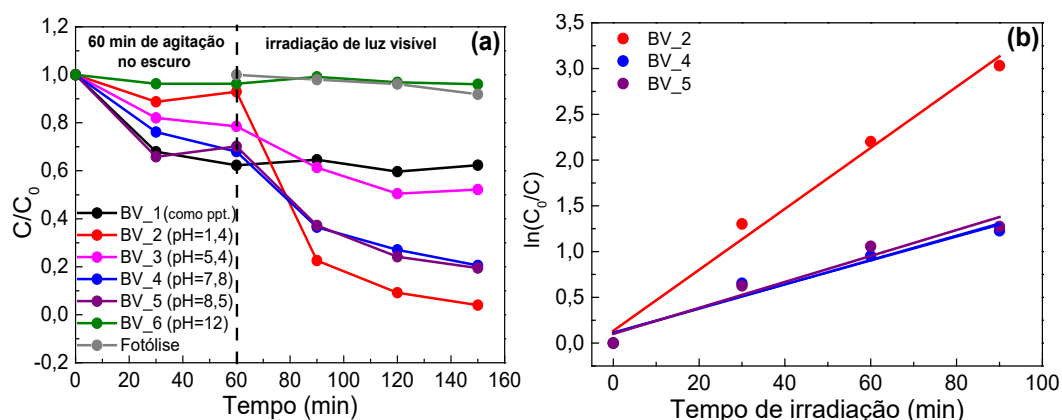
Sendo assim, o pH da solução precursora também influenciou nas propriedades texturais dos materiais de  $\text{BiVO}_4$  sintetizados pela rota hidrotérmica. O material BV\_2 (pH 1,4), foi o que apresentou menor valor de  $S_{BET}$  ( $1,6 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ), enquanto o material BV\_6 (pH 12), apresentou o maior valor para este parâmetro ( $4,9 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ).

Além disso, de acordo com os perfis das isotermas de adsorção-dessorção de gás nitrogênio, todas as amostras puderam ser classificadas como materiais mesoporosos ( $2 < \text{diâmetro de poro} < 50 \text{ nm}$ ) em virtude do perfil das isotermas serem do tipo IV de acordo com a classificação da IUPAC (THOMMES *et al.*, 2015). Em isotermas do tipo IV, a condensação capilar é acompanhada por histerese. Nestas amostras, de acordo com a forma apresentada, as histereses podem ser classificadas como H3, indicando poros em forma de fenda. A adsorção na superfície sólida em tipos de adsorventes como os apresentados aqui ocorre por meio de adsorção multicamada seguida de condensação capilar de gases nos mesoporos (DOLIC *et al.*, 2018; THOMMES *et al.*, 2015; WANG, B.; GUO; HE, 2016).

### Atividade fotocatalítica

Para avaliar a atividade fotocatalítica do  $\text{BiVO}_4$  sob irradiação de luz visível, a molécula escolhida como poluente modelo foi o corante azul de metileno. Figura 4(a), são mostradas as taxas de descoloração do corante azul de metileno em função dos materiais fotocatalisadores.

**Figura 4:** (a) Taxa de descoloração do corante AM sob luz visível empregando  $\text{BiVO}_4$  sintetizados em diferentes valores de pH: BV\_1 (pH=0,8), BV\_2 (pH=1,4), BV\_3 (pH=5,4), BV\_4 (pH=7,8), BV\_5 (pH=8,5) e BV\_6 (pH=12), e (b) cinética de descoloração do corante AM para os materiais BV\_2, BV\_4 e BV\_5



Fonte: autoria própria, 2022.

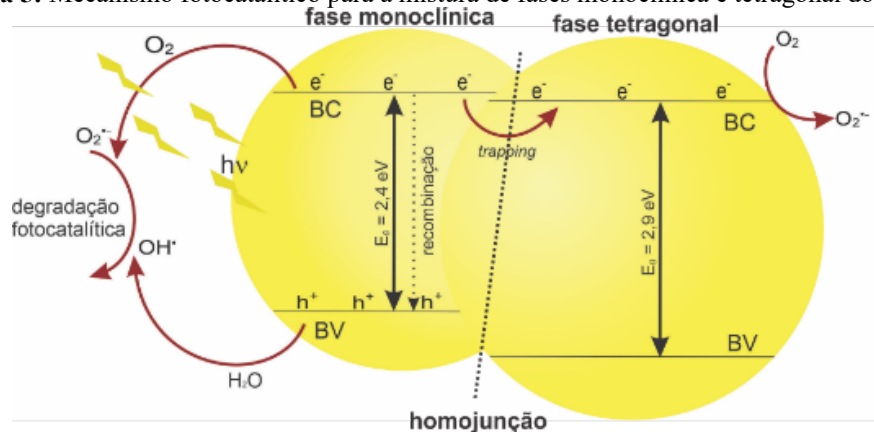
Para que o equilíbrio entre adsorção-dessorção das moléculas do corante sobre o  $\text{BiVO}_4$  fosse atingido, cada fotocatalisador foi disperso em solução de corante AM e agitados durante 60 min no escuro (ausência de luz). Após este tempo, luz visível foi irradiada sob o sistema (solução do AM + fotocatalisador). Na Figura 4(a) são mostradas a taxa de degradação do corante AM ( $C/C_0$ ) em função do tempo de incidência de luz visível. Foi observado que, após 90 min de luz visível, a taxa de descoloração do AM aumentou com o decorrer do tempo. Para o material BV\_6 os valores de descoloração foram similares à fotólise (ausência de catalisador), este desempenho foi atribuído à presença de  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  no material, fase de menor eficiência fotocatalítica. Para o material BV\_5, foi observado a segunda maior taxa de descoloração do AM, desempenho atribuído à composição deste material, sendo apenas  $\text{BiVO}_4$  monoclinico, fase de melhor desempenho fotocatalítico deste óxido (MALATHI *et al.*, 2018; WANG, Z.; HUANG; WANG, 2019).

Dentre os demais materiais notou-se que, conforme a quantidade de fase monoclinica aumenta, a taxa de descoloração do corante AM também aumenta. O material BV\_4, composto por 4,8% de fase monoclinica, apresentou uma maior taxa de descoloração quando comparada a do material BV\_3, contendo apenas 1,2% desta mesma fase.

O material que apresentou o melhor desempenho fotocatalítico foi BV\_2, constituído por 65% de fase monoclinica e 35% de fase tetragonal. A formação desta homojunção entre as fases monoclinica e tetragonal, nesta proporção, favoreceu o aumento na atividade fotocatalítica do  $\text{BiVO}_4$  frente a descoloração do corante AM sob luz visível. Este aumento no desempenho fotocatalítico pode ser atribuído a um favorecimento no processo de transferência e mobilidade dos portadores de carga fotogerados, promovendo assim uma menor taxa de recombinação do par elétron/buraco (XIE *et al.*, 2022; YAN *et al.*, 2015).

Um maior desempenho fotocatalítico também foi observado para o material BV\_4, eficiência atribuída a presença de homojunções formadas entre as fases monoclinica e tetragonal em todo o material. Por meio da homojunção, o elétron fotoexcitado para a banda de condução do  $\text{BiVO}_4$  monoclinico pode migrar para a BC do  $\text{BiVO}_4$  tetragonal, fase que atua como “armadilhas” (*trapping*) de elétrons nessa junção de fases, retardando conseqüentemente a recombinação do par elétron-buraco, aumentando assim a sua eficiência quântica na geração dos radicais hidroxila e superóxido, espécies responsáveis pela degradação da molécula poluente. Uma representação do mecanismo da reação fotocatalítica para o  $\text{BiVO}_4$  com essa mistura de fases (homojunções) é mostrada na Figura 5.

**Figura 5:** Mecanismo fotocatalítico para a mistura de fases monoclínica e tetragonal do  $\text{BiVO}_4$ .



Fonte: autoria própria, 2022.

Zhang e colaboradores também sintetizaram pela rota hidrotérmica diversos materiais de  $\text{BiVO}_4$  com diferentes porcentagens de fases monoclínica e tetragonal. Neste trabalho, utilizando pH igual a 5,5 a homojunção foi obtida, com uma concentração de 92,73% de fases monoclínica e 7,27% de fase tetragonal, sendo que, após 120 min de irradiação de luz visível (Xênon 500 W), este material ocasionou aproximadamente 95% de descoloração do corante (ZHANG, L. *et al.*, 2012). Estes resultados ressaltam a importância do controle de pH da solução precursora e o tipo de sistema hidrotérmico utilizado para obtenção de uma homojunção eficiente entre as fases monoclínica e tetragonal de  $\text{BiVO}_4$ .

Neste trabalho, o material que apresentou o melhor desempenho fotocatalítico foi obtido em pH igual a 1,43 (65% de fase monoclínica e 35% de fase tetragonal), sendo que este material, com apenas 90 min de irradiação de luz visível (57 W), promoveu aproximadamente 95% de descoloração da solução do corante AM.

Durante o processo de descoloração fotocatalítica do corante azul de metileno foi observado um deslocamento gradual da banda de absorção do corante em 664 nm para menores comprimentos de onda. Esse deslocamento ocorreu devido ao processo de desmetilação na molécula do corante ocasionado pela oxidação do AM, promovido pela ação dos radicais  $\cdot\text{OH}$  formados no meio reacional (OTÁVIO *et al.*, 2012; SERAFIM *et al.*, 2014).

Na Figura 4(b) é mostrado resultados da cinética de descoloração do corante AM empregando os materiais que apresentaram os melhores desempenhos fotocatalíticos (BV\_2, BV\_4 e BV\_5). Uma vez que a concentração inicial do corante foi relativamente baixa, a cinética deste processo de fotodegradação foi considerada como sendo de pseudo-primeira ordem (SERAFIM *et al.*, 2014; ZHANG, A. *et al.*, 2009), dada pela Equação 7.

$$\ln(C) - \ln(C_0) = -kt \quad \text{Eq. 7}$$

Rearranjando a Equação 7, obtém-se a Equação 8:

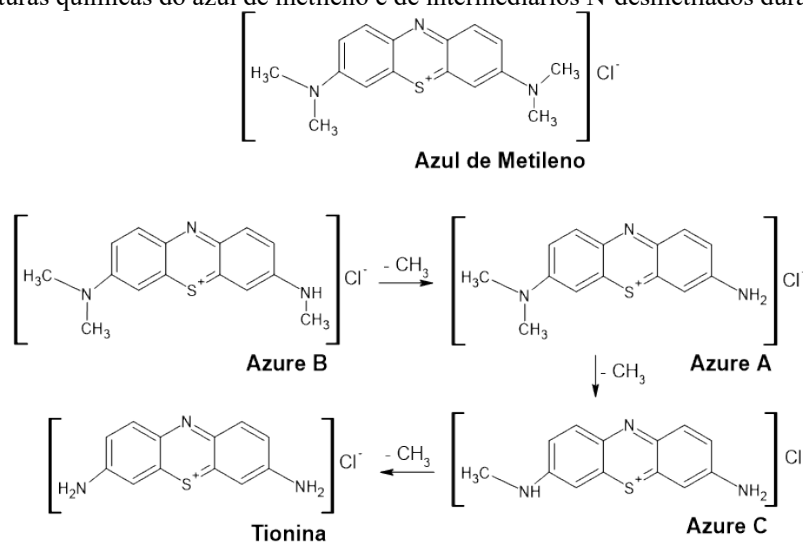
$$\ln\left(\frac{C_0}{C}\right) = kt \quad \text{Eq. 8}$$

Sendo  $C_0$  a concentração inicial do corante em solução,  $C$  a concentração do corante em solução no tempo  $t$  e  $k$  a constante cinética aparente da reação, podendo assim obter uma compreensão quantitativa das taxas de reação da degradação. Os valores de  $k$  calculados graficamente a partir da Figura 4(b) para as amostras BV\_2, BV\_4 e BV\_5 foram  $3,332 \times 10^{-2}$ ,  $1,304 \times 10^{-2}$ ,  $1,328 \times 10^{-2}$  e  $1,418 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$ , respectivamente. Esse resultado confirmou a maior atividade fotocatalítica da amostra BV\_2.

### ***Mecanismos de degradação do corante azul de metileno***

Durante o processo de fotocatalise a descoloração do corante AM, provocada pela presença do fotocatalisador, pode ocorrer com a retirada de quatro grupamentos metilas da estrutura, seguindo o mesmo mecanismo de reação. Como mostrado na Figura 6, primeiramente é formado o intermediário Azure B, que na sequência perde mais uma metila produzindo o Azure A. O Azure C é formado pela retirada da metila ligada ao carbono na extremidade oposta da molécula. A perda da última metila produz o quarto intermediário, a Tionina.

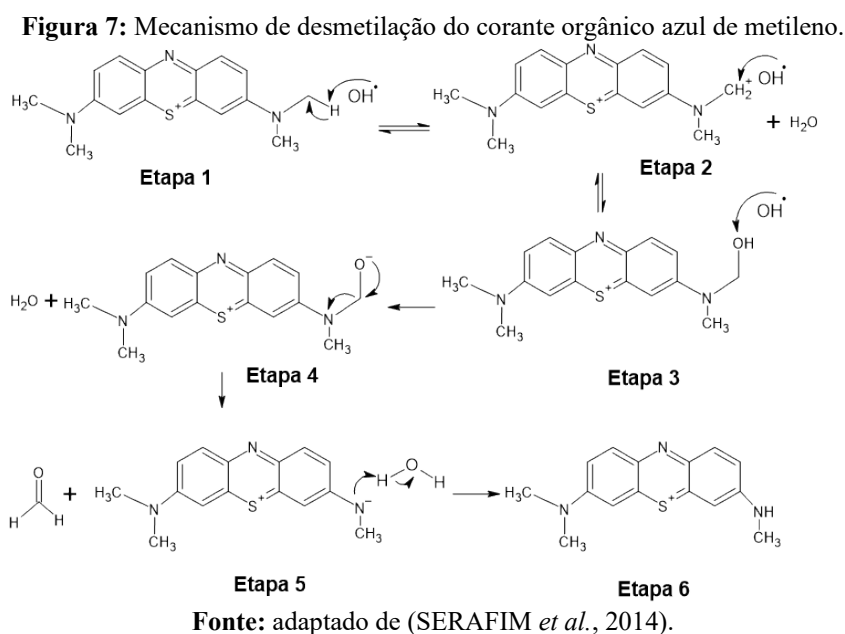
**Figura 6:** Estruturas químicas do azul de metileno e de intermediários N-desmetilados durante a fotocatalise.



Fonte: adaptado de (SERAFIM *et al.*, 2014) e (ZHANG, T. *et al.*, 2001).

O mecanismo de desmetilação está ilustrado na Figura 7, no qual indica o processo de desprotonação da molécula de AM promovida pela presença de radicais hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ) (Etapa 1). Em razão do  $e^-$  desemparelhado do radical  $\bullet\text{OH}$  e da estrutura do corante, a sobreposição dos orbitais dos dois radicais ocorre (Etapa 2), no qual, como demonstra a Etapa 3, o

grupamento hidroxila sofre oxidação pelo radical  $\bullet\text{OH}$ , liberando uma metila do anel em forma de aldeído (Etapa 5) (MOHAMMAD; MORRISON, 2000; OTÁVIO *et al.*, 2012; SERAFIM *et al.*, 2014; YOGI *et al.*, 2008; ZHANG, T. *et al.*, 2001). Este processo de desmetilação ocorre até a retirada dos quatro grupamentos metilas da estrutura, seguindo o mesmo mecanismo de reação (SERAFIM *et al.*, 2014).



Para aumento na atividade fotocatalítica do  $\text{BiVO}_4$  durante o processo de fotodegradação de moléculas orgânicas alguns fatores devem ser levados em consideração, podendo-se destacar a capacidade de absorção óptica do material e eficiência na geração do par elétron e buraco; a difusão em massa deste par fotogerado e a reação de oxidação superficial mediada pelos buracos ou pelas espécies ativas derivadas, como o radical superóxido ( $\text{O}_2^{\bullet-}$ ).

## CONCLUSÃO

A fotocatalise heterogênea, empregando materiais semicondutores, tem se destacado cada vez mais como uma alternativa promissora para contornar problemas ambientais como poluição e a escassez energética. Utilizando o sistema hidrotérmico, foi verificado que o pH da solução precursora influenciou nas propriedades cristalinas, morfológicas, texturais e fotocatalíticas do  $\text{BiVO}_4$ . A maior atividade fotocatalítica foi verificada para o material sintetizado em pH 1,4 (BV\_2) e foi diretamente relacionada a homojunção formada entre as fases monoclinica (65%) e tetragonal (35%), na respectiva proporção em massa presentes nesta amostra, favorecendo a migração do elétron fotoexcitado da banda de condução do  $\text{BiVO}_4$  monoclinico para a banda de condução do  $\text{BiVO}_4$  tetragonal, processo que diminui a recombinação do par elétron-buraco contribuindo para o aumento do desempenho fotocatalítico

do  $\text{BiVO}_4$ . A rota de síntese pelo sistema hidrotérmico se mostrou uma alternativa relativamente simples, fácil e de baixo custo para a obtenção de materiais constituídos de homojunções e com elevado desempenho fotocatalítico, tornando possível sintetizar  $\text{BiVO}_4$  monoclinico ou tetragonal de maneira seletiva e controlada ajustando o valor de pH do meio reacional.

## REFERÊNCIAS

AFROZ, K. et al. A heterojunction strategy to improve the visible light sensitive water splitting performance of photocatalytic materials. **Journal of Materials Chemistry A**, v. 6, n. 44, p. 21696–21718, 2018.

CHAGNES, A.; POSPIECH, B. A brief review on hydrometallurgical technologies for recycling spent lithium-ion batteries. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 88, p. 1191–1199, 2013.

DOLIC, S. D. et al. A comparative study of photocatalytically active nanocrystalline tetragonal zircon-type and monoclinic scheelite-type bismuth vanadate. **Ceramics International journal**, v. 44, p. 17953–17961, 2018.

ESCOBEDO-MORALES, A. et al. Automated method for the determination of the band gap energy of pure and mixed powder samples using diffuse reflectance spectroscopy. **Heliyon**, v. 5, p. 1–19, 2019.

GUO, M. et al. Enhanced photocatalytic activity of S-doped  $\text{BiVO}_4$  photocatalysts. **RSC Advances**, v. 5, p. 58633–58639, 2015.

KIM, J. H. et al. Toward practical solar hydrogen production-an artificial photosynthetic leaf-to-farm challenge. **Chemical Society Reviews**, v. 48, n. 7, p. 1908–1971, 2019.

KUDO, A. et al. Photocatalytic  $\text{O}_2$  evolution under visible light irradiation on  $\text{BiVO}_4$  in aqueous  $\text{AgNO}_3$  solution. **Catalysis Letters**, v. 53, p. 229–230, 1998.

KUDO, A.; OMORI, K.; KATO, H. A Novel Aqueous Process for Preparation of Crystal Form-Controlled and Highly Crystalline  $\text{BiVO}_4$  Powder from Layered Vanadates at Room Temperature and Its Photocatalytic and Photophysical Properties. **Journal of the American Chemical Society**, v. 121, p. 11459–11467, 1999.

LEI, B. et al. Additive-free hydrothermal synthesis of novel bismuth vanadium oxide dendritic structures as highly efficient visible-light photocatalysts. **Materials Science in Semiconductor Processing**, v. 30, p. 429–434, 2015.

LEI, B. et al. Hydrothermal synthesis and photocatalytic properties of visible-light induced  $\text{BiVO}_4$  with different morphologies. **Advanced Powder Technology**, v. 25, n. 3, p. 946–951, 2014.

LI, L.-P.; LIU, M.; ZHANG, W.-D. Electrodeposition of CdS onto  $\text{BiVO}_4$  films with high photoelectrochemical performance. **Journal of Solid State Electrochemistry**, v. 22, p. 2569–2577, 2018.

LI, W. et al. Core-shell structured titanium dioxide nanomaterials for solar energy utilization. **Chemical Society Reviews**, v. 47, n. 22, p. 8203–8237, 2018.

LIU, Z. et al. Preparation of bamboo-shaped BiVO<sub>4</sub> nanofibers by electrospinning method and the enhanced visible-light photocatalytic activity. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 651, p. 29–33, 2015.

LÓPEZ, R.; GÓMEZ, R. Band-gap energy estimation from diffuse reflectance measurements on sol – gel and commercial TiO<sub>2</sub>: a comparative study. **Journal of Sol-Gel Science and Technology**, v. 61, p. 1–7, 2012.

LOW, J. et al. Heterojunction Photocatalysts. **Advanced Materials**, v. 29, p. 1–20, 2017.

MA, W.; LI, Z.; LIU, W. Hydrothermal preparation of BiVO<sub>4</sub> photocatalyst with perforated hollow morphology and its performance on methylene blue degradation. **Ceramics International**, v. 41, p. 4340–4347, 2015.

MALASHCHONAK, M. V et al. Monoclinic bismuth vanadate band gap determination by photoelectrochemical spectroscopy. **Materials Chemistry and Physics**, v. 201, p. 189–193, 2017.

MALATHI, A. et al. A review on BiVO<sub>4</sub> photocatalyst: Activity enhancement methods for solar photocatalytic applications. **Applied Catalysis A: General**, v. 555, p. 47–74, 2018.

MENG, L.-Y. et al. The progress of microwave-assisted hydrothermal method in the synthesis of functional nanomaterials. **Materials Today Chemistry**, v. 1–2, p. 63–83, 2016.

MENG, X. et al. Surfactant-assisted hydrothermal fabrication and visible-light-driven photocatalytic degradation of methylene blue over multiple morphological BiVO<sub>4</sub> single-crystallites. **Materials Chemistry and Physics**, v. 125, p. 59–65, 2011.

MOHAMMAD, T.; MORRISON, H. Simultaneous Photoconjugation of Methylene Blue and cis-Rh(phen)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> to DNA via a Synergistic Effect. **Photochemistry and Photobiology**, v. 71, n. 4, p. 369–381, 2000.

NAGABHUSHANA, G. P.; TAVAKOLI, A. H.; NAVROTSKY, A. Energetics of bismuth vanadate. **Journal of Solid State Chemistry**, v. 225, p. 187–192, 2015.

OBREGÓN, S.; CABALLERO, A.; COLÓN, G. Hydrothermal synthesis of BiVO<sub>4</sub>: Structural and morphological influence on the photocatalytic activity. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 117–118, p. 59–66, 2012.

OTÁVIO, L. et al. Pyrite-enhanced methylene blue degradation in non-thermal plasma water treatment reactor. **Journal of Hazardous Materials**, v. 238, p. 55–62, 2012.

PARK, Y.; MCDONALD, K. J.; CHOI, K.-S. Progress in bismuth vanadate photoanodes for use in solar water oxidation. **Chemical Society Reviews**, v. 42, p. 2321–2337, 2013.

PAYNE, D. J. et al. The nature of electron lone pairs in BiVO<sub>4</sub>. **Applied Physics Letters**, v. 98, n. 21, p. 1–4, 2011.

PHILIPS-INVERNIZZI, B. Bibliographical review for reflectance of diffusing media. **Optical**



**Engineering**, v. 40, n. 6, p. 1082, 2001.

SERAFIM, J. A. et al. Bismuth Vanadate Synthesized By Solution Combustion With Different Fuels: Synthesis, Characterization and Study of Photocatalytic Activity. **Química Nova**, v. 37, n. 7, p. 1158–1164, 2014.

SUWANCAHALIT, C.; BUDDEE, S.; WONGNAWA, S. Triton X-100 induced cuboid-like BiVO<sub>4</sub> microsphere with high photocatalytic performance. **Journal of Environmental Sciences**, v. 55, p. 257–265, 2017.

THOMMES, M. et al. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). **Pure and Applied Chemistry**, v. 87, p. 1051–1069, 2015.

TOKUNAGA, S.; KATO, H.; KUDO, A. Selective Preparation of Monoclinic and Tetragonal BiVO<sub>4</sub> with Scheelite Structure and Their Photocatalytic Properties. **Chemistry of Materials**, n. 19, p. 4624–4628, 2001.

WALSH, A. et al. Band edge electronic structure of BiVO<sub>4</sub>: Elucidating the role of the Bi s and V d orbitals. **Chemistry of Materials**, v. 21, n. 3, p. 547–551, 2009.

WANG, B.; GUO, L.; HE, T. Fabrication of an olive-like BiVO<sub>4</sub> hierarchical architecture with enhanced visible-light photocatalytic activity. **RSC Advances**, v. 6, p. 30115–30124, 2016.

WANG, M. et al. Effects of Cu dopants on the structures and photocatalytic performance of cocoon-like Cu-BiVO<sub>4</sub> prepared via ethylene glycol solvothermal method. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 691, p. 8–14, 2017.

WANG, M. et al. Enhanced visible-light-driven photocatalytic activity of B-doped BiVO<sub>4</sub> synthesized using a corn stem template. **Materials Science in Semiconductor Processing**, v. 30, p. 307–313, 2015.

WANG, W. et al. Preparation of p-n junction Cu<sub>2</sub>O/BiVO<sub>4</sub> heterogeneous nanostructures with enhanced visible-light photocatalytic activity. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 134–135, p. 293–301, 2013.


WANG, Z.; HUANG, X.; WANG, X. Recent progresses in the design of BiVO<sub>4</sub>-based photocatalysts for efficient solar water splitting. **Catalysis Today**, v. 335, p. 31–38, 2019.

XIE, Z. et al. Facet-dependent spatial charge separation with rational cocatalyst deposition on BiVO<sub>4</sub>. **Materials Today Energy**, v. 26, p. 100986, 2022.

XU, J. et al. A review of processes and technologies for the recycling of lithium-ion secondary batteries. **Journal of Power Sources**, v. 177, n. 2, p. 512–527, 2008.

YAN, M. et al. Microwave-assisted synthesis of monoclinic–tetragonal BiVO<sub>4</sub> heterojunctions with enhanced visible-light-driven photocatalytic degradation of tetracycline. **RSC Advances**, v. 5, p. 90255–90264, 2015.

YANG, K. et al. Review on heterophase/homophase junctions for efficient photocatalysis: The case of phase transition construction. **Chinese Journal of Catalysis**, v. 40, n. 6, p. 796–818, 2019.



YIN, W. et al. CTAB-assisted synthesis of monoclinic BiVO<sub>4</sub> photocatalyst and its highly efficient degradation of organic dye under visible-light irradiation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 173, p. 194–199, 2010.

YOGI, C. et al. Photocatalytic degradation of methylene blue by TiO<sub>2</sub> film and. **Thin Solid Films**, v. 516, p. 5881–5884, 2008.

ZHANG, A. et al. Effects of pH on hydrothermal synthesis and characterization of visible-light-driven BiVO<sub>4</sub> photocatalyst. **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**, v. 304, p. 28–32, 2009.

ZHANG, L. et al. Efficient removal of methylene blue over composite-phase BiVO<sub>4</sub> fabricated by hydrothermal control synthesis. **Materials Chemistry and Physics**, v. 136, n. 2–3, p. 897–902, 2012.

ZHANG, T. et al. Photooxidative N-demethylation of methylene blue in aqueous TiO<sub>2</sub> dispersions under UV irradiation. **Journal of Photochemistry and Photobiology A**, v. 140, p. 163–172, 2001.

ZHANG, X. et al. Influences of vacancies on the structural, electronic and optical properties of monoclinic BiVO<sub>4</sub>. **Journal of Physics and Chemistry of Solids**, v. 121, p. 85–92, 2018.

ZHANG, Y. et al. Doping-promoted solar water oxidation on hematite photoanodes. **Molecules**, v. 21, p. 1–15, 2016.

ZHOU, L. et al. Single-Crystalline BiVO<sub>4</sub> Microtubes with Square Cross-Sections Microstructure, Growth Mechanism, and Photocatalytic Property. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 111, p. 13659–13664, 2007.

# CAPÍTULO 6

## ANÁLISE DE DADOS DO ATLAS DE VULNERABILIDADE SOCIAL NOS CRITÉRIOS DE EDUCAÇÃO, TRABALHO E ANALFABETISMO EM PETROLINA-PE E JUAZEIRO-BA

**Danielle Juliana Silva Martins**  
**Fábio Cristiano Souza Oliveira**  
**Maria do Socorro Tavares Cavalcante Vieira**  
**Tiago Pereira da Costa**  
**Jorge Luis Cavalcanti Ramos**  
**Vivianni Marques Leite dos Santos**  
**Lucia Marisy Souza Ribeiro de Oliveira**  
**Helinando Pequeno de Oliveira**

### RESUMO


Este estudo objetivou analisar os municípios que compõem a Região Integrada de Desenvolvimento Econômico considerando critérios como sociais e econômicos disponibilizados no Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil. Nesse estudo, foram analisados os dados de 2010, apresentando os avanços e desigualdades presentes nesta região, principalmente a relação entre a alfabetização e a empregabilidade com ou sem carteira assinada e cor da população. Com este estudo, verificou-se que a vulnerabilidade social desta região tem aumentado, tendo como uma das consequências sociais uma média de mais de 20% da população de analfabeta.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vulnerabilidade, alfabetização, empregabilidade.

### INTRODUÇÃO

Até a década de 1950 considerava-se que o crescimento econômico estava atrelado unicamente aos fatores de produção como os recursos naturais, capital e trabalho. Viana e Lima (2010) apontam que a partir de estudos realizados em 1964 essa ideia começou a ser modificada, e foi fortalecida com a realização de trabalhos empíricos nos anos de 1994 a 2004. Segundo os autores, desde então o capital humano passou a ser considerado como uma variável relevante nas medidas de crescimento econômico da população, passando a compor os conceitos e os modelos de crescimento econômico. A educação, determinada pelo nível de qualificação da população, aparece como uma via para a redução das disparidades econômicas e ao fortalecimento das economias regionais (VIANA e LIMA, 2010).

Entre essas economias está a Região Integrada de Desenvolvimento Econômico (Ride) do Polo de Petrolina/PE e Juazeiro/ BA, que foi instituída pela Lei Complementar nº 113, de 19 de setembro de 2001, e regulamentada pelo Decreto nº 4.366, de 9 de setembro de 2002. A




Ride contempla quatro municípios de Pernambuco: Petrolina, Lagoa Grande, Orocó e Santa Maria da Boa Vista; e quatro municípios da Bahia: Juazeiro, Casa Nova, Curaçá e Sobradinho. Esses municípios ocupam uma área de 35.436,697 km<sup>2</sup> (COSTA et al., 2015). A Ride tem como proposta coordenar e articular intermunicipalmente a relação entre os agentes Estado, iniciativa privada e sociedade civil organizada, criando uma relação de confiança, cooperação, diálogo e participação entre os agentes tendo como foco a redução das desigualdades regionais e o desenvolvimento econômico e social (OLIVEIRA, 2015).

Assim, a proposta deste estudo está pautada em fazer uma análise dos municípios que compõem a Ride a partir de informações sociais e econômicas disponibilizadas no Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, que teve sua primeira versão publicada em 2013 e a última atualização de dados em 2019. Para esse estudo, foram analisados dados de 2010, visando identificar avanços e desigualdades presentes neste território, sobretudo no que diz respeito à segregação dos dados em relação à alfabetização e a empregabilidade com ou sem carteira assinada e cor da população residente nas cidades que compõem a Ride.

A escolha do estudo envolvendo alfabetização deu-se em decorrência de que a população analisada pelo último censo de 2010 é a que deveria ser contemplada pelas mudanças iniciais ocorridas na educação a partir da Constituição Federal de 1988 e da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - LDB de 1996, principalmente pelo fato destas considerarem a educação como um direito de todos os brasileiros independente da faixa etária.

## **DESCRIÇÃO DOS DADOS ANALISADOS**

Para fazer o delineamento da região é importante compreender o índice de vulnerabilidade social (IVS) adotado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), que desenvolve o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Este se diferencia do conceito adotada pelo Banco Mundial, pois o primeiro considera que a vulnerabilidade envolve processos sociais que estão além do indivíduo solucionar e que necessitam de intervenção do Estado (União, Estados e Municípios) através de políticas públicas, como saneamento básico, serviços de saúde, escolas e transporte público, em uma perspectiva de bem estar e de qualidade de vida. A perspectiva do Banco Mundial, individualiza o processo, pois mesmo reconhecendo que o sujeito e a família podem ser privados de emprego, moradia, alimentação, questões sanitárias e ambientais, destaca que o indivíduo pode não esta sabendo gerir tais questões. (COSTA, 2018)



De acordo com Costa (2018), para a construção do IVS, o IPEA faz uso dos dados coletados pelo censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE pois estes “cobrem diversos aspectos relativos às condições de vida da população” (COSTA, 2018, p.18). A partir desses dados o IVS é subdividido em três dimensões: infraestrutura urbana, capital humano, renda e trabalho.


**Infraestrutura urbana:** vem sendo consolidada tanto no apoio financeiro quantitativo como na interlocução dos os principais agentes públicos e privados, nacionais e internacionais, atuantes no setor urbano, Moreira (2002).

**Capital humano:** segundo Paiva (2001) esse conceito foi forjado a partir dos conceito de "capital fixo" (maquinaria) e "capital variável" (salários). Supunha-se que os seres humanos se transformam em “capital humano” nas empresas mesmo isso ferindo bruscamente o humanismo que marcou o pensamento de esquerda no pós-guerra.

**Renda e trabalho:** as políticas públicas de trabalho, emprego e renda incluem e apoio aos desempregados; ofertas de qualificação profissional e de intermediação de mão de obra; possibilidades de microcrédito com ações destinadas à economia popular, economia solidária e incentivo ao primeiro emprego. A geração de emprego e de renda, necessita de a fiscalização para o combater a trabalho infantil, o trabalho escravo e promovendo o conceito de trabalho valorizado. Importante diferenciar trabalho com carteira assinada e trabalho sem carteira assinada. O primeiro caso está respaldado no Decreto n.21.175 de 21 de março de 1932 e garante direitos essenciais aos trabalhadores.

A partir destas definições fica claro que os desafios estão postos e precisam de soluções e que o Brasil precisa avançar nesses índices, de forma positiva, com o intuito de proporcionar para a sociedade uma melhor qualidade nas dimensões propostas. Considera-se assim a necessidade de propor políticas públicas adequadas para cada região, respeitando as particularidades e necessidades identificadas nesses espaços. Assim, e a partir desta compreensão delineou-se como objeto de estudo as temáticas analfabetismo e renda que compõem uma das categorias que fazem parte do índice de vulnerabilidade.

A situação de analfabetismo descritas nas população de jovens e adultos na sociedade brasileira, tem bases eminentemente históricas e, em sua maioria refletem problemas de estruturas sociais não superadas e sem muitas perspectivas. Dados de 2014 mostram que 13,1 milhões de pessoas acima de 15 anos que não sabem ler ou escrever, isso equivale a 8,3% para



esta faixa etária e, se for subtraído o corte para 10 anos de idade, o número é alterado para 16 milhões de pessoas, 9,3% da população acima de 9 anos (PNAD, 2014).

É importante destacar que desde 1978 a UNESCO passou a adotar a o termo analfabeto para “que não pode participar de todas as atividades nas quais a alfabetização é requerida para uma atuação eficaz em seu grupo e comunidade, e que lhe permitem, também, continuar usando a leitura, a escrita e o cálculo a serviço do seu próprio desenvolvimento e do desenvolvimento de sua comunidade” (INFANTE, 1994). Nesta definição considera-se analfabeta não apenas a pessoa que não sabe ler, escrever e calcular, mas também aquela que não sabe aplicar este arcabouço de conhecimentos em seus benefícios e da comunidade. Entretanto, os dados disponibilizados pelo IPEA referente ao analfabeto consideram aquele que não sabe ler e escrever uma informação simples.

No que se refere a taxa de analfabetos, um estudo realizado em 2003 pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), identificou que a Bahia e Pernambuco ocupam o 1º e o 5º lugar respectivamente com as maiores taxas de analfabetismo do Brasil, estes dois estados são os que pertencem a Ride. O mesmo estudo destaca que no Nordeste 66,1% da população vivia com uma renda até três salários mínimos em 2001, dando visibilidade ao quanto a população é carente financeiramente nessa região, bem como a correlação existente entre a taxa de analfabetos com a baixa renda (INEP, 2003).

Neste contexto e, partindo do pressuposto que o fato de não frequentar a escola está relacionada com a necessidade de trabalhar, de ter condições para suprir as necessidades básicas da família ou a dificuldade de acesso e permanência no ambiente escolar, e compreendendo que ausência da escolarização gera uma maior dificuldade de conseguir trabalho com carteira assinada, optamos por analisar variáveis relacionadas a estas temáticas. Vale destacar que o trabalhador que possui a carteira de trabalho assinada tem direito a benefícios como: seguro desemprego, previdência, Fundo de Garantia por Tempo de Serviço - FGTS (BRASIL, 2019).

Diante deste cenário foram selecionadas as variáveis descritas no quadro 1 a partir da planilha do Atlas da Ride de Petrolina e Juazeiro disponibilizadas no IPEA (2019). Na seção seguinte são apresentadas as análises realizadas a partir das variáveis selecionadas.

**Quadro 1:** Variáveis Analisadas.

Variável	Nome	Definição
t_vulner	Proporção de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo (de 2010)	Proporção de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo (2010)
t_analf_18m	Taxa de analfabetismo - 18 anos ou mais	Razão entre a população de 18 anos ou mais de idade que não sabe ler nem escrever um bilhete simples e o total de pessoas nessa faixa etária multiplicado por 100.
t_analf_25m	Taxa de analfabetismo - 25 anos ou mais	Razão entre a população de 25 anos ou mais de idade que não sabe ler nem escrever um bilhete simples e o total de pessoas nesta faixa etária multiplicado por 100.
t_carteira_18m	% de empregados com carteira - 18 anos ou mais	Razão entre o número de empregados de 18 anos ou mais de idade com carteira de trabalho assinada e o número total de pessoas ocupadas nessa faixa etária multiplicado por 100.
t_scarteira_18m	% de empregados sem carteira - 18 anos ou mais	Razão entre o número de empregados de 18 anos ou mais de idade sem carteira de trabalho assinada e o número total de pessoas ocupadas nessa faixa etária multiplicado por 100.
Label_cor	Cor	Desagregação das informações por cor (Branco/Preto).

Fonte: Autoria própria, 2019.

## RESULTADOS E ANÁLISES

Esta seção aborda os dados analisados a partir das variáveis apresentadas na seção 2. Inicialmente é importante compreender como foi realizado o processo de análise e tratamento dos dados, para tanto optamos pela utilização da Linguagem R.

## PROCEDIMENTOS E FERRAMENTAS ADOTADAS

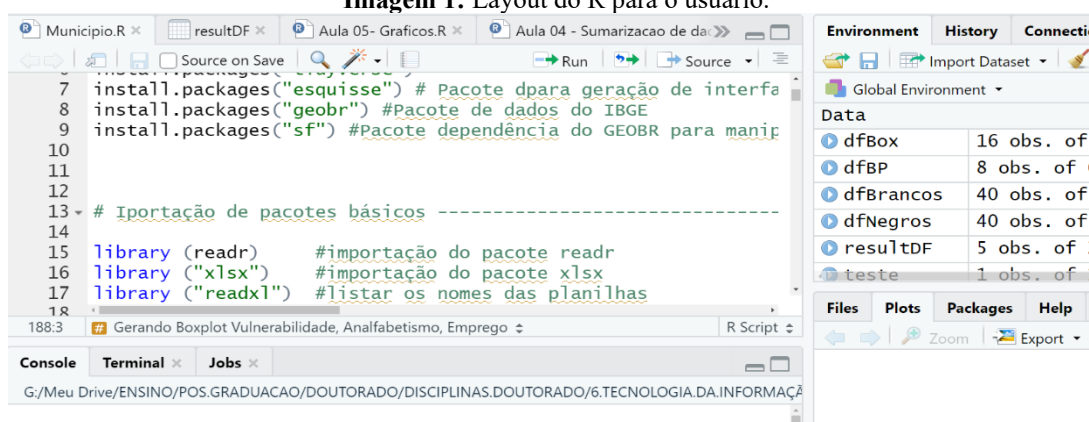
A realização deste estudo foi dividida em etapas. A primeira consistiu de explorar os dados obtidos junto ao IPEA(2019), com a identificação das variáveis, possíveis relacionamentos existentes e viabilidade de realização da análise. Num segundo momento foi realizada a filtragem da massa de dados para a otimização dos trabalhos. Com o volume menor de dados, iniciou-se a terceira etapa que consistiu de ajustes na planilha de dados e na definição das inferências a serem realizadas, bem como as medidas estatísticas, elementos gráficos e textos de apoio que dariam sustentação ao estudo.

Após estabelecer o escopo e às diretrizes de investigação foi realizada a análise dos dados através do software de análise estatística RStudio. Essa, é um Ambiente de

Desenvolvimento Integrado (IDE) para a linguagem de programação R. RStudio é um projeto de código aberto destinado a combinar os vários componentes do R (console, edição de código, gráficos, histórico, ajuda, etc.). O RStudio é executado em todas as principais plataformas, incluindo Windows, Mac OS X e Linux. Além do aplicativo de desktop, o RStudio pode ser implantado como um servidor para permitir o acesso à web para sessões R em execução em sistemas remotos (ALLAIRE, 2012).

A linguagem R foi desenvolvida por Ross Ihaka e Robert Gentleman na Universidade de Auckland na Nova Zelândia (UFRGS, 2020). A Imagem 1 apresenta como é a visualização do layout do R para o usuário.

**Imagem 1:** Layout do R para o usuário.



Fonte: Autoria própria, 2020.

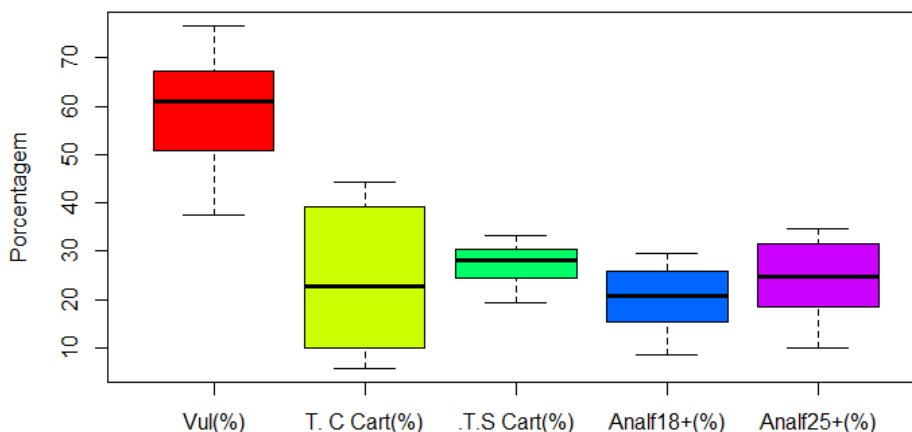
Após a definição da plataforma de análise de dados, foi realizada a importação dos dados da Ride a partir da planilha filtrada. Em seguida deu-se início ao tratamento dos dados, que é discutida na próxima seção.

## ANÁLISE DOS DADOS

A partir do Gráfico 1 é possível observar que trabalhadores com carteira assinada é o dado que mais varia entre os municípios da Ride, enquanto trabalhadores sem carteira não apresentam o mesmo panorama. Isso confirma o que demonstra o desvio padrão ( $Dp$ ) apresentado para esse indicador descrito na Tabela 1. Por outro lado, 50% dos municípios da Ride, possuem aproximadamente 60% de população vulnerável, e também possui uma variabilidade significativa. Isso pode ser consequência da presença de duas cidades de médio porte, Petrolina e Juazeiro que possuem melhores índices de desenvolvimento humano.



**Gráfico 1:** Boxplot Vulnerabilidade, Analfabetismo e Emprego.



Fonte: Autoria própria, 2019.

A tabela 1 é possível perceber que a população com idade entre 18 e 25 anos possuem entre 20% e 25% de analfabetos. Estes resultados demonstram a importância de intensificar ações de políticas públicas destinadas ao atendimento de crianças em idade pré-escolar garantindo-lhes o direito à permanência na escola durante todo o ciclo de educação básica. Este é um dos caminhos mais viáveis para minimizar estes índices nessa faixa etária. Em relação aos jovens e adultos a implementação das políticas públicas já existentes, associadas aos incentivos de acesso ao mundo trabalho, poderia fazer o diferencial nos atrativos para o retorno (ou início) destes sujeitos à vida escolar. No quesito alfabetização a ação do poder público faz-se imprescindível para alteração dos índices de alfabetização e analfabetismo, seja de forma positiva ou negativa.

**Tabela 1:** Média e Desvio Padrão.

Indicador	Média	Desvio Padrão
Taxa de Analfabetismo 18+ (%)	20,576	6,390
Taxa de Analfabetismo 25+ (%)	24,538	7,730
Taxa Trab. Com Carteira 18+ (%)	24,646	14,223
Taxa Tra. Sem Carteira 18+ (%)	27,381	3,976
Taxa de Vulnerabilidade (%)	59,657	10,867

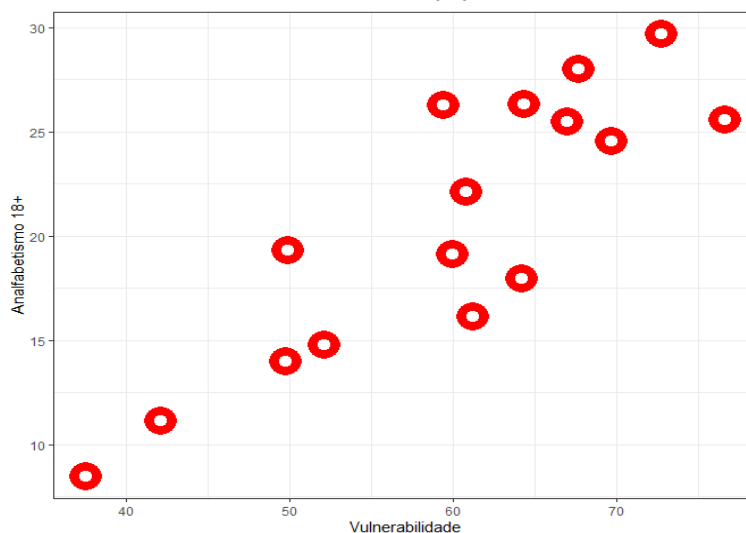
Fonte: Autoria própria, 2019.

No que se refere ao grau de correlação entre os índices de analfabetismo e vulnerabilidade identificou-se o valor de 0.865 para maiores de 18 anos, para o público maior de 25 anos identificou-se o valor de 0.856, tais resultados indicam uma correlação positiva forte. Já a correlação entre empregados sem carteira com o analfabetismo obteve o valor 0.8143162,

caracterizando também uma correlação positiva forte. Enquanto que a correlação entre empregados com carteira e o analfabetismo obteve-se -0.611 foi considerada como correlação negativa moderada. Esses resultados das correlações corroboram com a informação de que a ausência de escolaridade tem impacto direto na renda e na possibilidade de acesso a oportunidades profissionais com carteira de trabalho (INEP, 2003).

Estas informações podem ser percebidas também através dos gráficos 2, 3, 4 e 5. Verifica-se que nos gráficos 2, 3 e 5 existe uma proximidade dos pontos, sendo possível traçar uma reta entre os eixos x e y mostrando uma evolução. Enquanto, que no gráfico 4 não existe esta possibilidade de traçar uma reta pois os pontos estão bastantes dispersos.

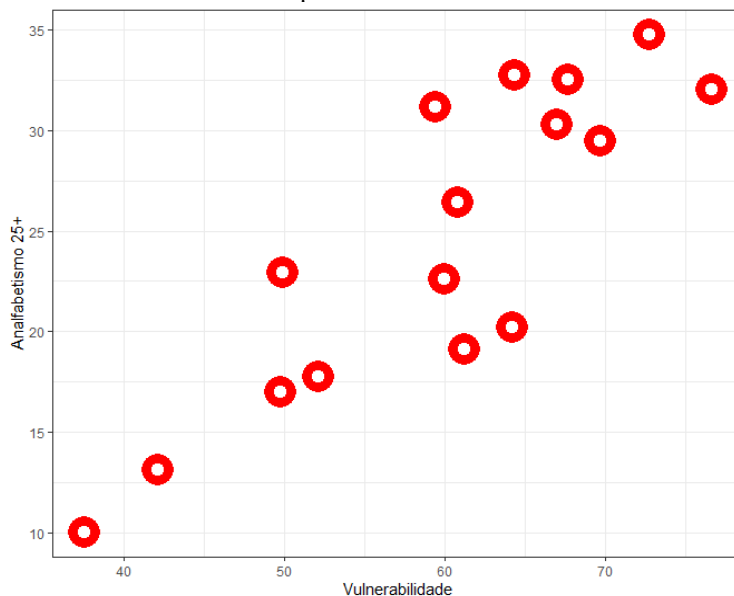
**Gráfico 2:** Grau de Dispersão de Analfabetismo de Maiores de 18 anos e Taxa Vulnerabilidade nos Município da Ride em 2010.



**Fonte:** Autoria própria, 2019.

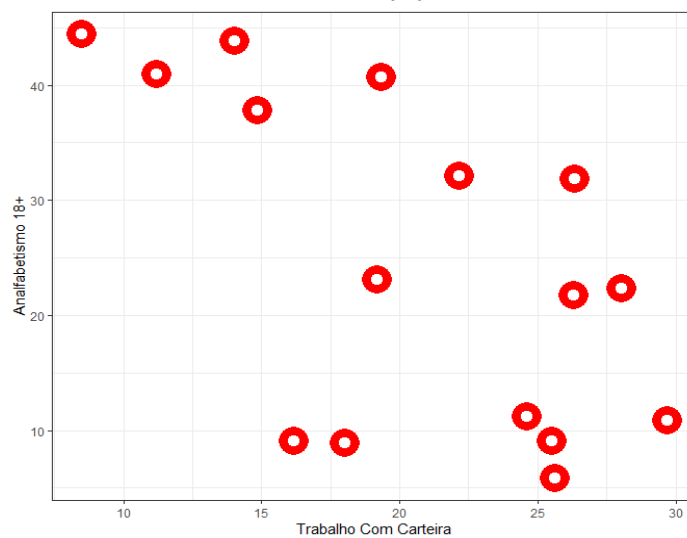
A vulnerabilidade social, mesmo no senso comum, sempre está associada aos índices de escolarização da população. A alfabetização, seja na infância ou idade adulta, garante aos sujeitos e, conseqüentemente, às sociedades em que estão inseridos a saída das fronteiras do vulnerável para o consolidado. Assim, o investimento em alfabetização poderá minimizar situações associadas à vulnerabilidade desde que os demais elementos envolvidas também sejam considerados.

**Gráfico 3:** Grau de Dispersão de Analfabetismo de Maiores de 25 anos e Taxa de Vulnerabilidade nos Município da Ride em 2010.



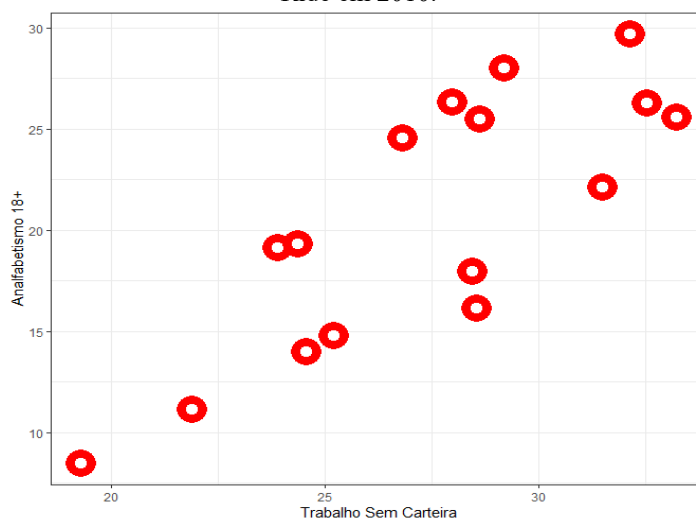
Fonte: A autoria própria, 2019.

**Gráfico 4:** Grau de Dispersão de Analfabetismo de Maiores de 18 anos e Taxa de Trabalhador com Carteira da Ride em 2010.



Fonte: A autoria própria, 2019.

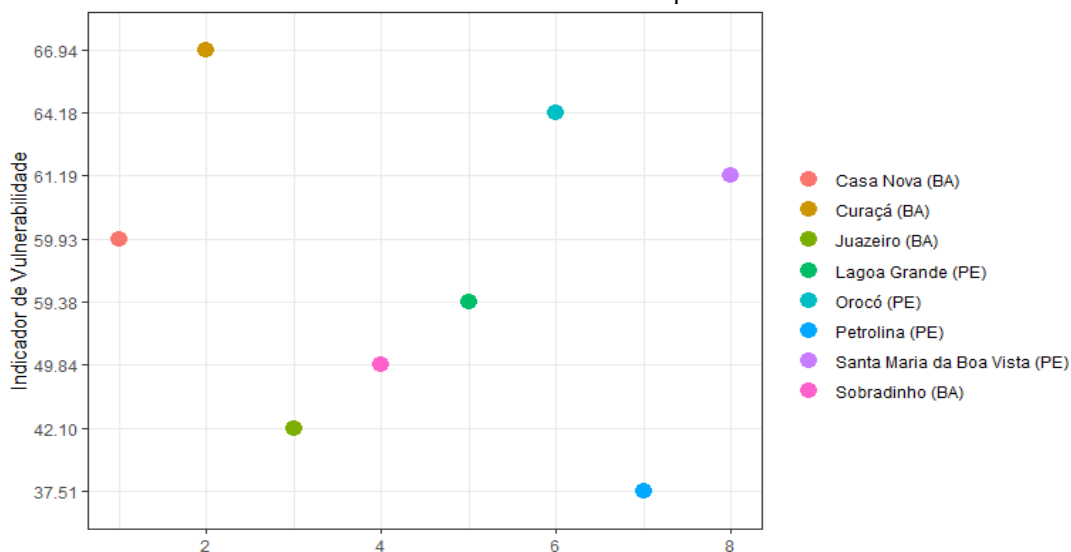
**Gráfico 5:** Grau de Dispersão de Analfabetismo de Maiores de 18 anos e Taxa de Trabalhador sem Carteira da Ride em 2010.



Fonte: Autoria própria, 2019.

Posteriormente, o gráfico 6 apresenta as taxas de vulnerabilidade das cidades pertencentes à Ride. É importante frisar que a taxa de vulnerabilidade apresentada se refere a proporção de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo. É perceptível que as cidades de Casa Nova, Curaçá, Lagoa Grande, Orocó, Santa Maria da Boa Vista e Sobradinho possuem uma taxa superior a 49,84% de vulnerabilidade. Tais dados apresentados em 2010 já demonstravam uma preocupação com relação a essa população, pois com meio salário mínimo não é possível garantir moradia, água e esgoto tratado, luz elétrica, alimentação e saúde.

**Gráfico 6:** Taxa de Vulnerabilidade dos Municípios da Ride em 2010.

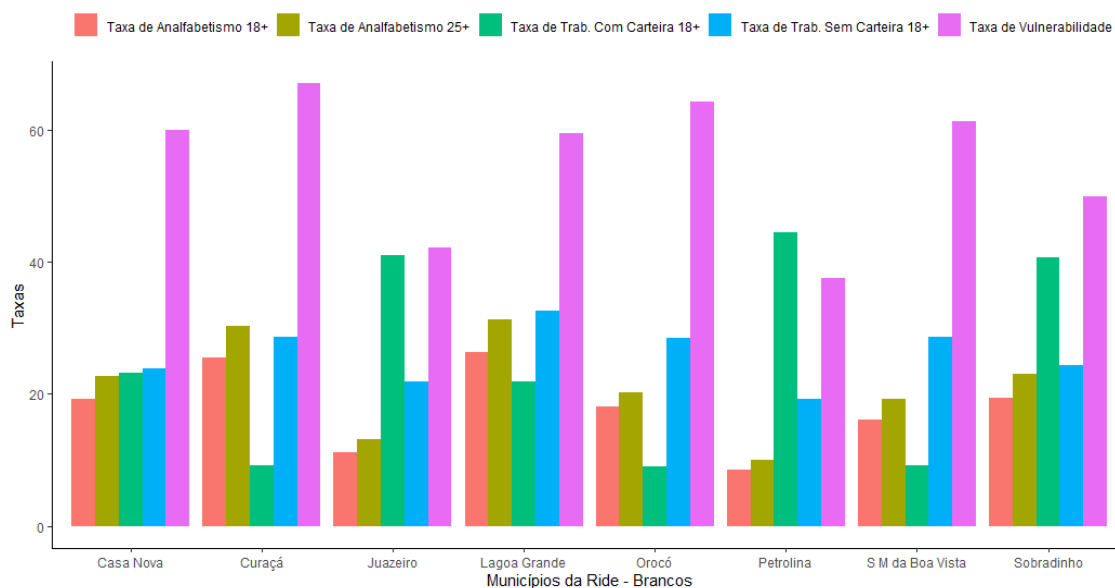


Fonte: Autoria própria, 2019.

Em 2019 o IBGE divulgou novos dados ressaltando que o rendimento mensal de 1% da população brasileira é de R\$ 27.744,00, em contrapartida 50% dos menos favorecidos ganham R\$ 820,00 destacando que a renda dos mais ricos cresceu 8% de 2017 para 2018 e dos mais pobres apresentou um decréscimo de 30% no mesmo período. Ou seja, quando os dados da taxa de vulnerabilidade forem divulgados com o ano de 2020 é provável que a situação de pobreza tenha piorado nesses municípios citados.

Assim, ressalta-se, o quanto é fundamental o investimento governamental em políticas públicas que venham proporcionar à população condições dignas, como por exemplo, planejar programas que permitam chegar a população vulnerável moradia com saneamento básico (água potável e esgoto) e luz elétrica, transporte público nas proximidades, posto de saúde, escolas para todas as etapas e além disso o investimento em lazer e cultura, pois todos têm de acordo com a Constituição Federal, na emenda N° 90 realizada no artigo 6, “direitos sociais a educação, a saúde, a alimentação, o trabalho, a moradia, o transporte, o lazer, a segurança, a previdência social, a proteção à maternidade e à infância, a assistência aos desamparados” (BRASIL, 2015).

**Gráfico 7:** Taxa de Analfabetismo de Brancos nos Municípios da Ride em 2010.

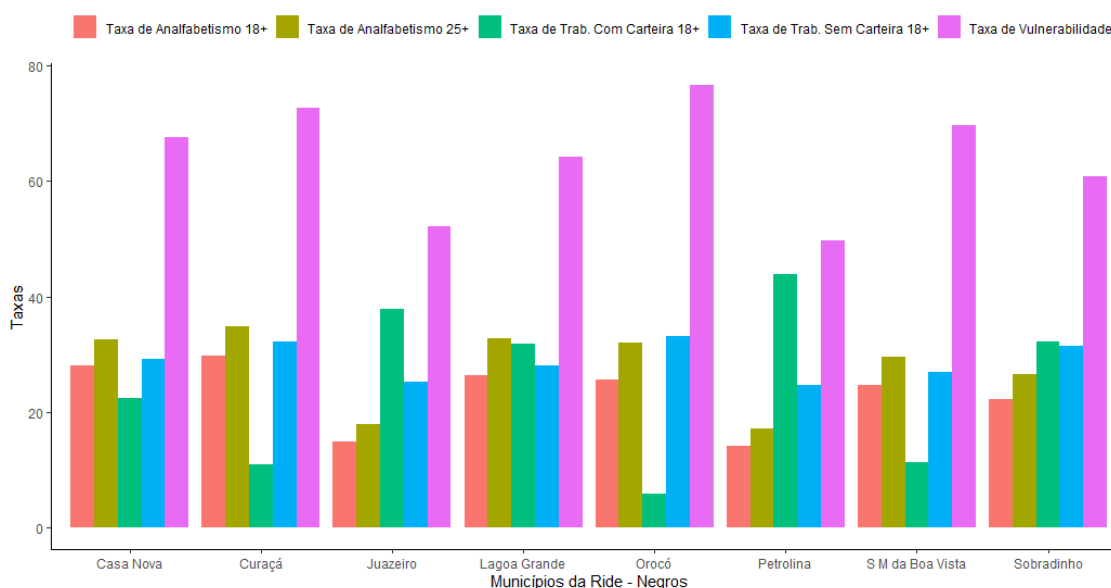


**Fonte:** Autoria própria, 2019.

O gráfico 7 e 8 fazem uma divisão das taxas estudadas por cor. No gráfico 7 é apresentado a situação para os indivíduos brancos, este aponta que as disparidades estão mais aparentes nos campos das taxas de analfabetismos de maiores de 18 anos e menores de 25 anos provavelmente porque há um movimento de êxodos durante os períodos de estiagem muito comuns na região e a escolarização formal não permanece como prioridade.

A oferta do trabalho, com carteira assinada e sem carteira assinada, se apresenta também com índices próximos nas cidades da região e isso significa que a oferta de trabalho ocorre de modo similar e no mesmo tempo para toda região. Essas ofertas podem ser relacionadas também à sazonalidade das ofertas de empregos de acordo com o ciclo das plantações, visto que na região tem-se uma elevada oferta de trabalho na fruticultura irrigada nos últimos 10 anos como destaca Barbosa (2019), sendo a Bahia e Pernambuco as maiores exportadoras de manga do país.


**Gráfico 8:** Taxa de Analfabetismo de Negros nos Município da Ride em 2010.



Fonte: Autoria própria, 2019.

Analisando conjuntamente o gráfico 7 e 8, verifica-se que tanto os indivíduos brancos como os indivíduos negros, apresentam uma taxa de analfabetismo, até 18 anos, como menor que a taxa de analfabetos de 25 anos. Esses índices podem estar relacionados com as possibilidades de acesso à escola que foram descritos no período estudado e que se apresentaram superiores a outros momentos. Certamente o diferencial veio com a implementação de políticas públicas, através de programa sociais, destinadas a este fim. Especificamente pode-se citar o Programa Bolsa Família que incentivou aos indivíduos de baixa renda buscar a escola nos mais diversos níveis. Para os jovens entre 18 e 25 os cursos ofertados através do PROEJA (Programa de Jovens e Adultos) foi outra iniciativa que mitigou a situação nesta região.

Verifica-se, através dos dados coletados, que os indivíduos negros estão mais vulneráveis que os indivíduos brancos, nas cidades de Curaçá e Orocó, por exemplo, onde taxa de vulnerabilidade social descrita ultrapassa 70% no quesito referente à renda que foi informada



como igual ou inferior a meio salário-mínimo. Este resultado corrobora com os dados divulgados pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (IBGE, 2016) que descreve que 70% da população negra no Brasil vive na extrema pobreza. Dado também constatado pelo Departamento de Penitenciária Nacional - DEPEN que descreve em seus anais o percentual de 60% da população carcerária são de negros (BRASIL, 2014). Infelizmente estes dados reforçam a inexistência políticas sociais e inclusivas para as populações negras e que no Brasil as desigualdades econômicas e sociais são perversas, perdurando ao longo de suas vidas (BRASIL, 2017).

## CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Relacionar trabalho, educação e analfabetismo, à primeira impressão, pode ser visto como uma equação simples de explicar e resolver. No entanto, ao analisar de forma mais acurada índices pesquisados com rigor necessário à pesquisa observa-se que há muitas intersecções que fazem essa relação única.

Os dados estudados e analisados neste trabalhos proporcionam aos interessados no tema perceber que a vulnerabilidade social desta região foi drasticamente enfatizados com aumentos dos índices de pobreza e suas consequências sociais que apesar da ampliação de ofertas de vagas nas escolas verificou-se que as cidades que compõem a Ride tem em média mais de 20% da população de analfabetos; mais de 40% da população de Juazeiro, Casa Nova, Curaçá, Sobradinho, Orocó, Santa Maria da Boa Vista e Lagoa Grande recebem meio salário mínimo e a população negra é a mais vulnerável. Constata-se também que mesmo sendo uma garantia constitucional educação e o trabalho, não estão acessíveis a todos, por isso, é fundamental o investimento em políticas que garantam a população esses direitos.

Ao considerarmos os resultados obtidos e os objetivos propostos para este estudo ressaltamos que, diante do cenário atual de muitas incertezas relacionadas às novas formas e possibilidades destas variáveis: educação, trabalho e analfabetismo (alfabetização) ficam abertos caminhos para estudos que possibilitem detalhar e complementar dados aqui apresentados, sejam na academia ou em qualquer outro segmento social. Esses caminhos se configuram como possibilidades nas áreas que envolvam as discussões sobre território sejam nas universidades ou em qualquer segmento da sociedade que demonstre interesse.

## REFERÊNCIAS

ALLAIRE, J. **RStudio**: integrated development environment for R. Boston, MA, v. 770, p. 394, 2012.

BARBOSA, E. Fruticultura Alavanca Emprego na Região do Vale do São Francisco. **Folha de Pernambuco**, 2019. Disponível em: <<https://www.folhape.com.br/economia/fruticultura-alavanca-empregos-no-vale-do-sao-francisco/123315/>>. Acesso em: 21 de nov. de 2020.

BRASIL. EMENDA CONSTITUCIONAL Nº 90. **Senado Federal**. 2015. Disponível em: <[https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/EMC90\\_15.09.2015/EMC90.asp](https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/EMC90_15.09.2015/EMC90.asp)>. Acesso em: 11 de nov. de 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DA JUSTIÇA. DEPARTAMENTO PENITENCIÁRIO NACIONAL. **Levantamento nacional de informações penitenciárias Infopen**: junho de 2014. Disponível em: <https://www.justica.gov.br/news/mj-divulgara-novo-relatorio-do-infopen-nesta-terca-feira/relatorio-depen-versao-web.pdf>. Acesso em: 21 de nov. de 2020.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. SECRETARIA DE GOVERNO. **Índice de vulnerabilidade juvenil à violência 2017**: desigualdade racial, municípios com mais de 100 mil. 2017. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000260661>. Acesso em: 21 de nov. de 2020.

BRASIL. Secretaria Especial de Previdência e Trabalho. Carteira de Trabalho. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho/pt-br/assuntos/trabalhador/carteira-de-trabalho>. Acesso em: 21 de nov. de 2020.

COSTA, M. A. et al. **Atlas da vulnerabilidade social nas regiões metropolitanas brasileiras**. 2015.

COSTA, M. A. et al. **Vulnerabilidade Social no Brasil: conceitos, métodos e primeiros resultados para municípios e regiões metropolitanas brasileiras**. Texto para Discussão, 2018.

INFANTI, M.I. **O analfabetismo funcional na América Latina**: algumas características a partir de uma pesquisa regional. In: Encontro latino-americano sobre educação de jovens e adultos trabalhadores. Brasília: INEP, 1994.


INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (Pnad)**: séries históricas e estatísticas. 2016. Disponível em: <[http://series-estatisticas.ibge.gov.br/lista\\_tema.aspx?op=2&no=7](http://series-estatisticas.ibge.gov.br/lista_tema.aspx?op=2&no=7)>. Acesso em: 11 de nov. de 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Atlas de Desenvolvimento Humano Ride Petrolina Juazeiro**. 2019. Disponível em: [http://ivs.ipea.gov.br/images/shapes\\_e\\_base\\_RMs/Ride\\_Petrolina\\_Juazeiro.zip](http://ivs.ipea.gov.br/images/shapes_e_base_RMs/Ride_Petrolina_Juazeiro.zip)

\_\_\_\_\_. Mapa do Analfabetismo. 2003. Disponível em: [http://inep.gov.br/artigo/-/asset\\_publisher/B4AQV9zFY7Bv/content/estudo-detalha-situacao-do-analfabetismo-no-pais/21206](http://inep.gov.br/artigo/-/asset_publisher/B4AQV9zFY7Bv/content/estudo-detalha-situacao-do-analfabetismo-no-pais/21206) Acesso em: 11 de nov. de 2020.

MOREIRA, T. A infra-estrutura urbana. **BNDS**, 2002.





PAIVA, V. Sobre o conceito de "capital humano". **Cadernos de pesquisa**, n. 113, p. 185-191, 2001.

SANTOS, E. S. dos; CAMILLO, V. S. Capital humano e renda do trabalho no Brasil: uma investigação empírica. **CICLOS DE DEBATES EM ECONOMIA INDUSTRIAL, TRABALHO E TECNOLOGIA**, v. 9, 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). **Software Livre Educacional Linguagem R. Página inicial**. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/soft-livre-edu/software-educacional-livre-na-wikipedia/r-linguagem-de-programacao/>>. Acesso em: 21 de nov. de 2020.

VIANA, G; LIMA, J. F. de. Capital humano e crescimento econômico. **Interações (Campo Grande)**, v. 11, n. 2, p. 137-148, 2010.

# CAPÍTULO 7

## OTIMIZAÇÃO DA GESTÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA BARRAGEM DE OITICICA<sup>5</sup>

**Débora Maria de Castro Aquino**  
**Luênia Kaline Tavares da Silva**  
**Kácio Alessandro de Macedo**  
**Luciano Henrique Pereira da Silva**

### RESUMO

Os Resíduos da Construção Civil quando não geridos e descartados corretamente causam prejuízos ao meio ambiente. Nesse contexto, o artigo analisou a eficácia do processo de gerenciamento dos Resíduos Sólidos oriundos da Construção Civil na obra da Barragem de Oiticica, no Estado do Rio Grande do Norte. Foi feito um levantamento bibliográfico e consultado o Plano de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos da obra em construção, assim como foi realizada uma visita técnica para obtenção de dados primários. Verificou-se que a construtora tem cumprido com os procedimentos para segregação, manejo e gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos. Concluiu-se que a construção da barragem tem gerado uma quantidade significativa de resíduos, com sobra de material britado e de concreto. Assim, sugeriu-se o uso de uma Plataforma 4.0, criada para reduzir o desperdício de resíduos sólidos e favorecer o aproveitamento em obras adjacentes. Por fim, os resultados deste artigo poderão ser utilizados por instituições interessadas em proporcionar uma melhor percepção e qualidade das implementações dos planos de gerenciamento sobre a ótica dos Resíduos Sólidos da Construção Civil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Meio Ambiente; Resíduos Sólidos; Impactos Ambientais.

### INTRODUÇÃO

O setor da construção civil destaca-se como uma das atividades produtivas que mais gera resíduos resultantes de reformas, construção e demolição de obras; os quais quando não geridos e descartados corretamente causam prejuízos ao meio ambiente (PINTO et al., 2019; ALVES; QUELHAS, 2004).

Logo, a gestão de resíduos é uma etapa fundamental para o bom planejamento e execução das obras, adotando-se um conjunto de ações adequadas para disciplinar desde a geração de materiais até a disposição final (OLIVEIRA et al., 2020; KARPINSK et al., 2009).

---

<sup>5</sup> Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte (FAPERN).

No Brasil, a discussão sobre a gestão de resíduos sólidos foi regulamentada pela Lei nº 12.305/2010 que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos, em seu Capítulo I, Art. 4º dispõe:

Art. 4º A Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010, Capítulo I, Art. 4º).

De forma complementar, os resíduos oriundos da construção civil são definidos pela Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para o gerenciamento dos Resíduos Sólidos da Construção Civil (RCC), desde a classificação até a sua disposição final adequada, passando pela atribuição de responsabilidade ao poder público municipal e seus geradores, define em seu Art. 2º:

I - Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha [...] (BRASIL, 2002, Art. 2º).


Nesse contexto, a disposição de RCC em locais inadequados representa um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas. Com o objetivo de estabelecer procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequados dos RCC, a resolução tratou de responsabilizar os grandes geradores, por meio da elaboração e implementação dos Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRS):

Art. 9º Os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil deverão contemplar as seguintes etapas:

- I - caracterização: nesta etapa o gerador deverá identificar e quantificar os resíduos;
- II - triagem: deverá ser realizada, preferencialmente, pelo gerador na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade, respeitadas as classes de resíduos estabelecidas no art. 3º desta Resolução;
- III - acondicionamento: o gerador deve garantir o confinamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte, assegurando em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e de reciclagem;
- IV - transporte: deverá ser realizado em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos;
- V - destinação: deverá ser prevista de acordo com o estabelecido nesta Resolução (BRASIL, 2012, Art. 9º).

A problemática da presente investigação surgiu da necessidade de atendimento à legislação referente ao PGRS oriundos da construção civil, dentro de obras civis e públicas, a exemplo da construção de grandes barragens.

A Barragem de Oiticica, localizada no município de Jucurutu no Rio Grande do Norte (RN), é uma obra esperada há mais de 50 anos pela população seridoense. São mais de 4 km de



área construída e capacidade para armazenar 566 milhões de metros cúbicos de água, que irão servir tanto para o abastecimento humano, quanto para produção econômica, lazer e proteção contra enchentes (SEMARH, 2018).

A barragem se constituirá em uma das maiores obras de segurança hídrica do RN. Será o principal reservatório receptor, regulador e distribuidor das águas oriundas do Projeto de Integração do São Francisco (PISF), na bacia do rio Piranhas (SEMARH, 2018).

Diante deste cenário, esta pesquisa pretendeu analisar a eficácia do processo de gerenciamento dos RCC na obra da Barragem de Oiticica. Este artigo foi desenvolvido no âmbito do Projeto de Pesquisa e Inovação vinculado ao Termo de Cooperação Técnica-Científica formalizado em 2019 entre a Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte (FAPERN) e a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH).


## REFERENCIAL TEÓRICO

A água é um recurso natural essencial, seja como componente bioquímico de seres vivos, como meio de vida de várias espécies vegetais e animais, como elemento representativo de valores sociais e culturais e até como fator de produção de vários bens de consumo final e intermediário (GOMES, 2011).

A construção de uma barragem afeta fatores abióticos, como flora (vegetação) e fauna (animais), todavia, estes elementos têm íntima dependência com diversos fatores abióticos (físicos), tais como: solo, clima, água. Neste contexto, a avaliação de impacto ambiental é de suma importância para antever possíveis problemas, sendo constituída de uma série de procedimentos legais, institucionais e técnico-científicos que visam identificar os possíveis impactos decorrentes da futura instalação da barragem e prever a sua magnitude, bem como avaliar sua importância, mensurada por meio do grau de significância, considerando dois cenários: um com a implantação do barramento e outro sem a implantação do empreendimento (VIEIRA et al., 2011).

De acordo com Alves e Quelhas (2004), em todo o mundo, o setor da construção civil se destaca como maior consumidor de recursos naturais principalmente de argamassa e areia e maior gerador de resíduos, portanto, é considerado um dos grandes causadores de impactos ambientais.

O interesse por políticas públicas na construção civil cresce exponencialmente, uma vez que desperdício de materiais ainda sobre forma de rejeito, significa também desperdício de



matéria prima e conseqüentemente de recursos naturais já escassos. Para isso, se torna necessário disciplinar desde a geração de materiais até a disposição final. (KARPINSKI et al., 2009).

Keeler (2018) enumeram ações que devem ser tomadas na elaboração de um projeto integrado sustentável, tornando-se necessário considerar as questões do terreno e da comunidade, a exemplo do fornecimento de recursos locais, da gestão de resíduos, do acesso solar dos vizinhos e dos corpos de água da comunidade.

Diante da necessidade de atendimento à legislação referente ao PGRS oriundos da construção civil, dentro de uma obra de engenharia civil, confronta-se a aplicação da Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, a qual em seu Art 1º e § 1º, que diz:


Estão sujeitas à observância desta Lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2010, Art.1º).

Logo, é uma responsabilidade que precisa ser compreendida por todos os tipos de geradores e um dever e compromisso que todos devem ter com os fins dados aos resíduos sólidos gerados, inclusive em grandes obras de infraestrutura. Segundo o Art. 3º da referida Lei, inciso VII, a destinação final ambientalmente adequada é entendida como uma destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes.

Ainda de acordo com o Art. 3º, inciso XI, a gestão integrada de resíduos sólidos é um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável. Assim percebe-se que os aspectos apresentados pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) tratam de evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Por essa razão e ainda pela importância no âmbito da PNRS vigente, tem o tema possui relevância para obras de engenharia civil porque a não observância das normas, leis e decretos, resoluções referentes ao destino final dos resíduos sólidos da construção civil podem gerar impactos ambientais, contaminação do lençol freático, pode gerar multas e penalidades ao empreendedor civil ou público.

Os aspectos teóricos de embasamento deste trabalho respaldam-se na supracitada Lei nº 12.305/2010, no Decreto nº 7.404/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos



e Logística Reversa; na Resolução nº 307 CONAMA que versa sobre Gestão dos Resíduos da Construção Civil; no Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Norte; na NBR 15112 (Áreas de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos); na NBR 15113 (Aterros para resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes); na NBR 15114 (Área de reciclagem para resíduos sólidos da Construção civil); na NBR 15115 (Procedimentos para que agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil sejam utilizados na execução de camadas de pavimentação) e na NBR 15116 (Requisitos para que agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil sejam utilizados na execução de camadas de pavimentação).

## **METODOLOGIA**

### **Caracterização dos RCC gerados na barragem de oiticica**

Segundo o PGRS elaborado pela Semarh (2018) para a obra de construção da Barragem de Oiticica, localizada em Jucurutu/RN, são gerados resíduos da construção de obras, mais conhecidos como RCC e RDC (Resíduos de Construção e Demolição), que constituem uma parcela dos resíduos sólidos, inclusos os resíduos originados de outras atividades, principalmente aqueles gerados no canteiro de obra.

Na Barragem de Oiticica o canteiro de obras contempla desde Usinas de Concreto Convencional (CCV), Britador; Pátio Industrial; Usina Concreto Compactado a Rolo (CCR); Área de Armazenamento Temporário de destino final de RCC; Parada de ônibus; Guarita; Armação e Ferragens; Carpintaria; Laboratório; Abastecimento; Baías Reciclado; Almojarifado; Castelo D'Água; Almojarifado/QSMS/Compras/Topografia; Alojamento de encarregados; Refeitório; Administração Central; Escritório Fiscalização; Oficina; Baía de sucatas; Lavajato veículo pesado; Lavajato desativado; Cisterna; Alojamento produção 1; Vestiário coletivo; Alojamento produção 2; Castelo D'Água até Banheiros/Quiosque (Figura 1).

De acordo com a Semarh (2018), os resíduos sólidos previstos e oriundos da construção da Barragem de Oiticica devem ser classificados conforme as classes A (solo de escavação, pedra granítica, produtos de cimento, argamassas); B (madeira, embalagens de papel, papelão e plásticos, vidros); C (gesso, sem previsão de uso na obra da Barragem) e D (óleos, tintas, vernizes e produtos químicos).

**Figura 1:** Vista geral do canteiro de obras na Barragem de Oiticica.



Fonte: SEMARH (2018).


### **Procedimentos metodológicos**

Para atingir o objetivo proposto, a pesquisa utilizou-se de procedimentos metodológicos, cumpridos no decorrer de 24 (vinte e quatro) meses, iniciados em setembro de 2019 e concluídos em agosto de 2021.

A natureza desta pesquisa caracteriza-se como aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigida à solução de problemas e interesses específicos (PRODANOV, 2013).

Quanto ao objetivo pesquisado, assume-se um caráter exploratório e descritivo, por meio de um estudo de caso, com abordagem quali quantitativa do problema. Os estudos exploratórios permitem aprofundamento do conhecimento acerca de determinado assunto, proporcionando uma nova visão do problema (PRODANOV, 2013).

Para Gil (2009) o estudo de caso está voltado para uma aplicação imediata de conhecimentos em uma realidade circunstancial, no caso, na Barragem de Oiticica. A abordagem quali quantitativa pressupõe a análise, interpretação e compreensão de fatos, contudo, podendo ser complementada e descrita numericamente (CHIZOTTI, 2010).



Inicialmente foi feito um levantamento bibliográfico e documental. O levantamento bibliográfico foi desenvolvido para auxiliar na análise da eficácia do processo de gerenciamento dos RCC na obra da Barragem de Oiticica. O principal documento técnico consultado foi o PGRS da obra da construção da barragem.

Além disso, também foram realizadas consultas aos sites e normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 15112 (Áreas de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos); NBR 15113 (Aterros para resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes); NBR 15114 (Área de reciclagem para resíduos sólidos da Construção civil); NBR 15115 (Procedimentos para que agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil sejam utilizados na execução de camadas de pavimentação); NBR 15116 (Requisitos para que agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil sejam utilizados na execução de camadas de pavimentação), com o intuito de atualizar a investigação sobre RCC.

Para a coleta de dados foi realizada uma visita técnica com o objetivo de obter dados primários acerca dos RCC gerados com a obra. Foi feito um comparativo sobre o cumprimento dos requisitos legais, conforme previsto no PGRS quanto a classificação, o acondicionamento, o transporte, o tratamento e a disposição final, e a sua real execução no canteiro de obras.

Segundo Prodanov (2013) a pesquisa em campo consiste na observação de fatos e fenômenos tal como ocorrem espontaneamente, na coleta de dados *in loco* e no registro de variáveis que se presume como relevantes, para analisá-las.

Após a coleta de dados *in loco*, procedeu-se à compilação, análise e discussão para, em seguida, formular a criação de uma Plataforma 4.0, por meio do Google Site. Na plataforma foram inseridas imagens ilustrativas e dados/resultados obtidos na presente pesquisa. A ferramenta oferece um endereço na web, com a possibilidade de uso restrito a usuários portadores do link (<https://sites.google.com/view/gestaoresiduosconstrucao/>).

O Google permite ainda agregar outros recursos, como planilhas, apresentações e formulários. Com isso, a utilização da plataforma 4.0 poderá ficar acessível em tempo real às partes interessadas e autorizadas pela empresa executora ou por demais instituições interessadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As informações que versam esse tópico são resultantes da visita técnica na obra da Barragem de Oiticica, localizada na cidade de Jucurutu/RN, realizada no dia 02 de março de



2021. Conforme os resultados obtidos, por meio da verificação *in loco* na obra da Barragem Principal, seguida pelas Barragens Auxiliares I e II, discutiu-se sobre volume, classificação, acondicionamento, transporte, tratamento, reutilização, reciclagem e disposição final dos RCC gerados.

### **Volume total gerado de resíduos da construção civil na obra**

Consonante aos dados fornecidos pelo Consórcio EIT-Encalço, construção responsável, o volume de material natural (jazida) escavado foi 1.856.718,34m<sup>3</sup> de volume total na jazida, onde:

a) **Material de 3ª categoria (Volume Escavado na jazida após o desmonte):** o volume acumulado do total escavado até a data 02/03/2021 foi de 1.856.718,34t (2013-2021). O material natural (jazida), após a detonação (desmonte), sofre uma expansão volumétrica (empolamento expresso em porcentagem) e ele passa a ser chamado de material solto, quando passa ao volume de 2.970.749,34t (1.856.718,34 x 1.60 taxa de empolamento). Desse material natural (jazida), que equivale a 1.856.718,34t/2.4t/m<sup>3</sup> (densidade natural da rocha), corresponde a 773.632,64m<sup>3</sup> de material natural a ser utilizado no britador, nos acessos e no estoque (Parque Industrial);

b) **Material de 3ª categoria (Volume utilizado no britador):** o valor acumulado da parcela de 34% do valor total escavado (773.632,64 m<sup>3</sup>), acumulado até a medição 91, correspondeu a 34% do volume total escavado e foi de 263.035,10m<sup>3</sup>;

c) **Material de 3ª categoria (Volume utilizado na construção de acessos):** o valor acumulado da parcela de 20% do valor total escavado (773.632,64 m<sup>3</sup>), acumulado até a medição 91, correspondeu a 20% do volume total escavado e foi de 154.726,53m<sup>3</sup>;

d) **Material de 3ª categoria (Volume em estoque - Pátio Industrial):** o valor acumulado da parcela de 46% do valor total escavado (773.632,64m<sup>3</sup>), acumulado até a medição 91, correspondeu a 46% do volume total escavado e foi de 355.871,01m<sup>3</sup>.

### **Características dos RCC**

De acordo com a Resolução CONAMA nº 307/2002, Art 3º, incisos I e II (alterada pela Resolução nº 469, de 29 de Julho de 2015) os resíduos derivados da construção civil, predominantemente encontrados na obra da Barragem de Oiticica, foram de Classes A e B:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso [...] (BRASIL, 2015, Art. 3º).

Dessa forma, foram encontrados RCC na obra da Barragem de Oiticica, do tipo: a) Top Soil (pó de brita), brita com diversas granulometrias, e areia, resultantes do processo de desmonte, denominados de Classe A e b) Madeira, originária das fôrmas utilizadas na atividade de concretagem.

A construtora, após a utilização, realiza a doação para colaboradores da própria empresa e esses colaboradores reutilizam nas suas residências ou sítios. Já o barrote também utilizado na obra, após o uso, é reutilizado em placas de sinalização da própria obra da Barragem Oiticica. A madeira é denominada de Classe B.

#### **Dados volumétricos sobre armazenamento**

No estoque, que também pode ser denominado de Pátio Industrial, resignante aos dados fornecidos pelo Consórcio EIT-Encalço, de 46% do volume de material natural (773.632,64m<sup>3</sup>), equivale à 355.871,01m<sup>3</sup> de volume armazenado para uso futuro.

#### **Dados volumétricos sobre o transporte dos RCC**

O volume solto que foi transportado, proveniente do processo de desmonte (detonação das rochas), do local próximo a jazida até os destinos - britador, acessos e estoque - foi de 2.970.749,34m<sup>3</sup> de volume total de material solto, incluso taxa de empolamento (expansão volumétrica do material natural após o desmonte das rochas).

#### **Dados quantitativos sobre o tratamento realizado com os RCC**

O tratamento realizado com os RCC para a obra da Barragem de Oiticica faz uso de um equipamento chamado Britador de Mandíbulas, capaz de garantir uma produção em grande volume, utilizando o processo de esmagamento da rocha após a atividade de detonação, o qual gera fragmentos de rocha e areia. Esses fragmentos equivalem a 34% do volume de material natural. Assim, ao tratar 34% dos fragmentos de rochas provenientes da detonação, 20% foi transformado em Top Soil (Pó de brita, com alto teor de finura) e 80% foi transformado em Brita graduada.

### **Dados quantitativos sobre reutilização**

Na reutilização, pelo processo de Britagem, as britas geradas são do tipo Brita de 25mm e Brita de 50mm. Essas britas são reutilizadas nas usinas disponíveis no canteiro de obras, são elas: Usina de CCR (Concreto Compactado a Rolo) e Usina de CCV (Concreto Convencional). Assim como também são reutilizadas nos acessos por meio do Top Soil (Pó de pedra) gerado e a areia que é gerada no processo de detonação. Obteve-se também pedra, que não foi britada, mas sim usada no enrocamento das paredes dessas barragens auxiliares, num volume de 112.228,90 m<sup>3</sup>. Além do uso no concreto, também se aplicou nas Barragens Auxiliares I e II, um processo denominado pela construtora de transição de brita, num volume de 27.764,93 m<sup>3</sup>.

### **Dados quantitativos sobre reciclagem**

Já no processo de reciclagem, foi feito um novo uso aos materiais oriundos da detonação, britagem, e com isso na confecção do concreto foram utilizados (cimento, areia e brita), onde apenas o cimento foi adquirido pelo processo de aquisição/compras, e os materiais restantes, brita e areia foram reciclados da própria obra, que gerou o concreto por meio das Usinas de CCR e CCV. Os volumes de concreto utilizados na obra desde o início (2013) até a 91 medição (2021), foram de: CCV = 117.096,44 m<sup>3</sup> e CCR = 506.417,68 m<sup>3</sup>. Os volumes de concretos resultantes da confecção do concreto *in loco*, foram aplicados na execução da obra da Barragem Principal, Auxiliares I e II.

### **Dados quantitativos de recuperação energética**

Não foi verificado nenhum tipo de recuperação energética em processos de execução da obra da Barragem de Oiticica.

### **Dados quantitativos da disposição final**

A disposição final, até o término da elaboração deste artigo, encontrava-se indefinida pela administração do Consórcio EIT-Encalso e, possivelmente, seria por meio de bota fora com a conclusão da obra, que na ocasião da visita técnica (Março/2021) estava em curso.

Denota-se, após a discussão dos resultados, que a construção da Barragem de Oiticica proporcionou uma considerável geração de resíduos, notadamente, pela sobra de material britado e de concreto. Contudo, são sobras reaproveitadas e recicladas em Usinas de CCR e de CCV na própria obra.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo analisar a eficácia do processo de gerenciamento dos RCC na obra da Barragem de Oiticica. Para isso, foi consultado o PGRS da obra em construção, assim como foi realizada uma visita técnica com o objetivo de obter dados primários acerca dos RCC gerados. Após a análise e discussão dos resultados, foi criada uma Plataforma 4.0.

Verificou-se que a construtora tem observado as diretrizes do PGRS e cumprido com os procedimentos para segregação, manejo e gerenciamento ambientalmente adequado dos RCC. Destarte, a redução dos impactos ambientais provocados pela geração dos resíduos tem uma dimensão diretamente proporcional a capacidade de aplicação do PGRS na execução do empreendimento, objetivando uma busca exemplar de redução, reaproveitamento e reciclagem desses materiais.

Todavia, em virtude da alta demanda de resíduos sólidos originários/provenientes da construção civil, assim como do uso indiscriminado, do desperdício de remanescentes de obra pública e da ausência de monitoramento adequado e inteligente; propôs-se, a partir desta pesquisa, uma solução, conforme a finalidade e utilização das sobras dos RCC.

Logo, como forma de solucionar a problemática voltada a preservação do meio ambiente, contribuindo para a sustentabilidade, favorecendo a otimização dos recursos naturais disponíveis e monitoramento dos resíduos, sugeriu-se uma Plataforma 4.0, integrando soluções de tecnologia, utilizando critérios quantitativos capazes de gerar um maior aperfeiçoamento da gestão dos parâmetros volumétricos de material natural e solto, residuais da construção civil.

Dessa forma, todo material que possivelmente iria para um destino final que a empresa executora ainda não definiu por motivo da obra ainda encontrar-se na etapa de execução, poderá ser reutilizado em obras posteriores pela SEMARH em forma de doação, ou ainda, por pessoas civis, como forma de evitar o desperdício e proporcionar benefícios ao meio ambiente; visto que a parcela residual que não for utilizada de nenhuma forma dentro da obra da Barragem de Oiticica, deverá ter uma destinação final adequada.

Assim, depreende-se dos argumentos expostos sobre a importância da conscientização para fortalecer e estimular a busca pela utilização de ferramentas de inovação tecnológica capazes de proporcionar um melhor desempenho gerencial dos resíduos da construção civil dentro da obra da Barragem de Oiticica, gerando benefícios socioeconômicos e ambientais.

A Plataforma 4.0, quando implementada, é capaz de reduzir o desperdício de resíduos sólidos, favorecendo o aproveitamento em outras obras adjacentes. Sendo assim, os resultados

e soluções encontrados por meio da utilização desta ferramenta poderá auxiliar numa melhor gestão dos resíduos sólidos, realizada por monitoramento em tempo real (acesso remoto).

Por fim, os resultados deste artigo poderão ser utilizados por instituições interessadas para aplicabilidade em processos de otimização dos RCC gerados com obras públicas e/ou privadas, tal como em projetos de Construções Sustentáveis e/ou Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

## REFERÊNCIAS

ALVES, C. E. T.; QUELHAS, O. L. G. **A ecoeficiência e o ecodesign na indústria da construção civil: uma abordagem à prática do desenvolvimento sustentável na gestão de resíduos com uma visão de negócios**. Rio de Janeiro: Associação Educacional Dom Bosco, 2004. 10 p.

AQUINO, D. M de. C. **Otimização da geração dos resíduos da construção da Barragem de Oiticica**. Google, 2021. Disponível em: <https://sites.google.com/view/gestaoresiduosconstrucao/>. Acesso em: 01 mar. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15112**: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15113**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15114**: Resíduos sólidos da Construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, 2 de agosto de 2010; 189º da Independência e 122º da República. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 01 abri. 2021.

BRASIL. Resolução nº 469 de 29 de julho de 2015. Altera a Resolução CONAMA n 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**. Brasília, 05 de julho de 2015. Disponível

em: <http://www.ctpconsultoria.com.br/pdf/Resolucao-CONAMA-469-de-29-07-2015.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2021.

BRASIL. Resolução nº 307 de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**. Brasília, 05 de julho de 2002. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=98303>. Acesso em: 11 ago. 2021.

CHIZOTTI, A. **Pesquisas em ciências humanas e sociais**. 11 ed. São Paulo: Cortez, 2010.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GOMES, M. A. F. Água: sem ela seremos o planeta Marte de amanhã. Março 2011. Disponível em: [https://www.cnpma.embrapa.br/down\\_hp/464.pdf](https://www.cnpma.embrapa.br/down_hp/464.pdf). Acesso em: 08 mar. 2022.

KARPINSK, L; PANDOLFO, A; REINERH, R; KURUK, J; PANDOLFO, L; GUIMARÃES, J. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. 1. ed. Porto Alegre: Edipucrs, 2009. 163 p. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/14256069/gestao-diferenciada-de-residuos-da-construcao-civil-uma-pucrs>. Acesso em: 27 ago. 2021.

KEELER, M. **Fundamentos de um projeto de edificações sustentáveis**. Prasad Vaidya. Tradução: Alexandre Salvaterra. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

OLIVEIRA, L. J. C; SOARES, M. C. B; QUARESMA, W. M. G; ADORNO, A. L.C. Gestão de resíduos: uma análise sobre os impactos da geração de rejeitos na construção civil. **Braz. J. of Develop**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 24447-24462, May. 2020. ISSN 2525-8761

PINTO, R. B; FABRÍCIO, E. P; BRUM, N; KÖHLER, F. A. Resíduos da Construção Civil: matéria prima verde a ser investigada. **Braz. J. of Develop**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 1339-1351, Feb. 2019. ISSN 2525-8761

PRODANOV, C. C. **Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico** (2a. ed.) Novo Hamburgo: Feevale. 2013. Disponível em: <https://www.feevale.br/editora>. Acesso: 18 ago. 2021.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos - PGRS**: Obra de Construção da Barragem Oiticica - Jucurutu/RN. Natal, 2018. 47 p.

# CAPÍTULO 8

## ESTUDO COMPARATIVO ENTRE BLOCOS CERÂMICOS E BLOCOS DE CONCRETO PARA EXECUÇÃO DE ALVENARIA

**Guilherme Matheus Bezerra Fernandes**  
**Felipe da Cruz Dias**

### RESUMO

Vivemos em uma sociedade globalizada na qual constantemente nos deparamos com inúmeros progressos científicos e tecnológicos. E não seria diferente no campo da Engenharia. O Engenheiro Civil, precisa estar por dentro dos sistemas construtivos e dos progressos existentes no seu ramo profissional. Para se destacar no mercado relacionado à indústria da Construção Civil é necessário saber executar uma determinada obra em tempo reduzido, com baixo custo e uma boa qualidade para se obter satisfação de todas as partes (engenheiro, construtores, proprietários e consumidor final). Assim sendo, com o presente trabalho busca-se identificar as melhores alternativas de construção e opções de materiais. Várias condições devem ser observadas e avaliadas antes da escolha do tipo de bloco que será utilizado em uma obra, portanto, foram avaliadas amostras de dois tipos de blocos usados nas alvenarias de vedação: bloco cerâmico e bloco de concreto. Por meio da metrologia e análise de dados foi verificado de perto as especificações que dizem respeito às medidas estabelecidas nas normas técnicas que regulamentam os dois blocos. Por último, foi definido o melhor custo-benefício entre os mesmos, resultado de uma análise comparativa de preço, quantidade necessária para uma mesma construção hipotética e o nível de conforto que oferecem cada um que será observado no decorrer deste trabalho.


**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema construtivo; Blocos; Normas técnicas; Custo-benefício.

### INTRODUÇÃO

A construção civil é uma área muito ampla e com grandes oportunidades no mercado de trabalho, teve suas épocas de queda no setor da construção, é em 2019 foi onde a construção voltou com maiores pontos positivos, junto com mercado imobiliário estimulando o crescimento da economia e geração de empregos. (TERRA, 2020).

Diante deste cenário é preciso se reinventar e se destacar, buscando novos métodos para a implementação na área da construção civil. A redução de gastos com desperdícios, a diminuição de custos e o aumento da produtividade, sem que aumentem os impactos ambientais são temas de destaque neste novo ciclo da indústria da construção civil.

Assim, uma vez definido o projeto, o processo de escolha dos materiais, deve ser levado em consideração, dentre outras características, a qualidade, a relação custo-benefício e a sustentabilidade. No caso dos blocos para a construção de alvenaria não seria diferente, devendo



ser considerado ainda o isolamento térmico e acústico oferecido, os gastos com argamassa, mão de obra e material para o reboco e principalmente a carga que conseguem suportar, fator inclusive muito importante no planejamento de uma obra.

Este trabalho visa realizar um estudo comparativo entre blocos cerâmicos e blocos de concreto para levantamento de alvenaria, buscando considerar aspectos econômicos e características construtivas para a execução de alvenaria. Para fins de estudos, foram realizados testes de resistência, comparação das especificações técnicas e análise do melhor custo benefício entre os blocos, gerando uma análise comparativa eficiente entre ambos.

O método para a realização deste trabalho foi avaliar se os blocos cerâmicos e de concreto de uma fábrica de blocos de concreto e depósito de tijolos (blocos cerâmicos) da cidade de Brazlândia – DF estão com suas medidas, áreas e distâncias de acordo com o que está estabelecidos em suas respectivas normas regulamentadoras. Foi avaliada a relação custo-benefício entre os blocos, com base nas médias de preço, quantidade necessária para cobrir determinada área hipotética e as variáveis de conforto térmico e acústico, considerando as normas vigentes, demonstrando suas vantagens e desvantagens, também considerando o aproveitamento de materiais.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

Para a execução do presente trabalho foi feita uma análise comparativa entre dois blocos utilizados na construção de alvenarias: blocos cerâmicos e de concreto, foi verificado o percentual de área líquida e a distância entre as extremidades de acordo com suas normas regulamentadoras (NBR's). Em seguida se verificou qual tipo de bloco oferecia um melhor custo benefício, calculando-os em uma área utilizada hipoteticamente e também analisando de com o referencial teórico obtido por meio bibliográfico, grande parte em meio virtual, e também com base em um estudo de caso semelhante feito na cidade de Juazeiro do Norte pelo autor (GONÇALVES, 2016).

Para a realização das medições foram utilizadas duas ferramentas utilizadas no ramo da construção civil: o paquímetro e a trena. Buscou-se analisar de forma eficiente se os blocos cerâmicos e de concreto, produzidos em uma fábrica de blocos de concreto e depósito de tijolos da cidade de Brazlândia – DF, estão de acordo com as especificações recomendadas pelas suas normas que as regulamentam (NBR).

### **Sistemas construtivos**

A construção civil é um dos setores mais importantes para a economia do país. Desde a



promoção do bem-estar das pessoas por meio de moradias e edificações até o desenvolvimento das cidades através da infraestrutura urbana, o setor é responsável por movimentar o Produto Interno Bruto (PIB), empregar a força trabalhista e também estimular o setor econômico. Para a realização de uma obra devem-se conter várias etapas primárias, incluindo a escolha do sistema construtivo a se utilizar. Segundo (PEREIRA, 2018) no ramo da construção civil, existem diversos sistemas construtivos para a execução de uma edificação. No Brasil, o método mais utilizado é a alvenaria convencional, porém novas tecnologias estão aparecendo e começando a ser utilizadas. CM

Alvenaria de vedação é o método construtivo comum, sendo o sistema mais utilizado pelos brasileiros em construções. Nela, apenas o peso próprio é levado em consideração, além de janelas e portas instaladas. Seu objetivo principal é vedar e separar ambientes ao utilizar materiais como tijolos cerâmicos ou blocos de concreto sobrepostos.

Na construção de uma casa em alvenaria de vedação, utiliza-se essencialmente tijolos cerâmicos ou de concreto, que exercem função de dividir os ambientes, não tendo função estrutural, sendo necessário a criação de vigas e pilares composta por vergalhões de ferro amarrado e preenchidos com concreto a base de brita, areia grossa e cimento, como forma de criar uma estrutura de sustentação (IBDA, 2015).

**Figura 1:** Alvenaria de Vedação.



**Fonte:** Elaboração própria, 2021.

Este método construtivo de vedação permite que se tenham mais opções ao elaborar o projeto arquitetônico, já que possibilita que se tenham grandes vãos, dada a utilização de vigas

e pilares para dar sustentação à estrutura (PEREIRA, 2018). De acordo com Pereira (2018), as vantagens e desvantagens desse método construtivo podem ser listados no Quadro 1 abaixo:

**Quadro 1:** Vantagens e desvantagens da alvenaria de vedação.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Maior durabilidade que qualquer outro material;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Possui baixa produtividade relativa durante a execução;</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Grande disponibilidade de material e mão de obra, além de um bom custo-benefício;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Necessidade de revestimento adicional devido à baixa porosidade;</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Maior facilidade e baixo custo na execução da alvenaria;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Maior custo se comparada com alvenaria estrutural;</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Maior aceitação pelo cliente, devido a cultura do uso;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Maior tempo de execução.</li></ul>

**Fonte:** Elaboração própria, 2021.

## ALVENARIA ESTRUTURAL

Na alvenaria estrutural a parede de bloco concreto vai o processo de vedação. Assim, une-se a estrutura e a vedação da edificação, utilizando blocos cerâmicos ou de concreto, os dois específicos para este fim. Os projetos de blocos de concretos devem ser bem detalhados por ele ser estrutural, juntos com os projetos elétrico e o sanitário sendo analisado também a distâncias dos vãos, de acordo com o bloco. (PEREIRA, 2018).

**Figura 2:** Execução de Alvenaria Estrutural.



**Fonte:** www.forumdaconstrucao.com.br, 2021.

Os blocos são os responsáveis por diversas funções (PEREIRA et al., 2014), como:

- ✓ Transmitir os esforços do edifício para a fundação;
- ✓ Separar os ambientes;

✓ Garantir o conforto necessário aos usuários do local através de isolamento acústica e térmica;

✓ Proteger das chuvas e ventos.

Segundo Lopes (2018) as vantagens e desvantagens dos blocos podem ser resumidas segundo o Quadro 2:

**Quadro 2:** Vantagens e desvantagens da alvenaria de vedação.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Rapidez e facilidade de construção;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• As paredes não podem ser removidas sem recolocar um elemento estrutural para suprir as cargas;</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Maior qualidade na execução;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Limitações estéticas nos projetos arquitetônicos;</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Menor desperdício de materiais.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vãos livres limitados.</li></ul>

Fonte: LOPES et al., 2018

## RESULTADOS

### Análise dos blocos

Foi escolhida uma fábrica de porte médio na cidade de Brazlândia – DF, onde são produzidos blocos de concreto e no mesmo local se encontra um grande depósito de materiais de construção, incluindo os tijolos (blocos cerâmicos) que também serviram de pesquisa para este trabalho. Foi realizada uma seleção de forma aleatória de 5 (cinco) blocos de cada tipo, de concreto e cerâmicos, respectivamente, sendo medido 1 (um) a cada 30 (trinta) blocos produzidos, totalizando uma média 150 (cento e cinquenta) blocos entre os analisados. Foram medidas as espessuras das paredes dos blocos com auxílio de um paquímetro e as dimensões (comprimento, altura e largura) com auxílio de uma trena (Figura 3).

**Figura 3:** Blocos utilizados nos experimentos: (a) blocos cerâmicos e (b) blocos de concreto.



(a)



(b)

**Fonte:** Elaboração própria, 2022.

Para o cálculo da área bruta, usamos os valores do comprimento (C), altura (H) e largura (L):

$$\text{Área Bruta} = 2 \cdot H \cdot C + 2 \cdot L \cdot H + 2 \cdot LC \quad (1)$$

A Área dos Vazios é calculada multiplicando o valor da altura pelo somatório dos valores dos diâmetros dos blocos.

$$\text{Área dos Vazios: } H \cdot \sum_i^8 D_i \quad (2)$$

A Área Líquida é obtida subtraindo a Área Bruta da Área dos Vazios:

$$\text{Área dos Vazios: } \text{Área Bruta} - \text{Área dos Vazios} \quad (3)$$

**Tabela 1:** Medidas dos diâmetros dos furos dos blocos cerâmicos.

Diâmetro	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5
1	37,02	35,54	35,66	38,36	34,70
2	37,76	37,06	38,20	38,54	37,54
3	36,14	39,34	38,00	37,86	41,60
4	37,76	34,00	37,66	37,80	33,14
5	35,60	36,84	34,72	35,00	35,90
6	38,50	37,68	38,40	38,84	38,24
7	37,26	38,64	37,24	38,24	38,00
8	36,00	36,88	37,06	36,40	36,16

**Fonte:** Elaboração própria, 2022.

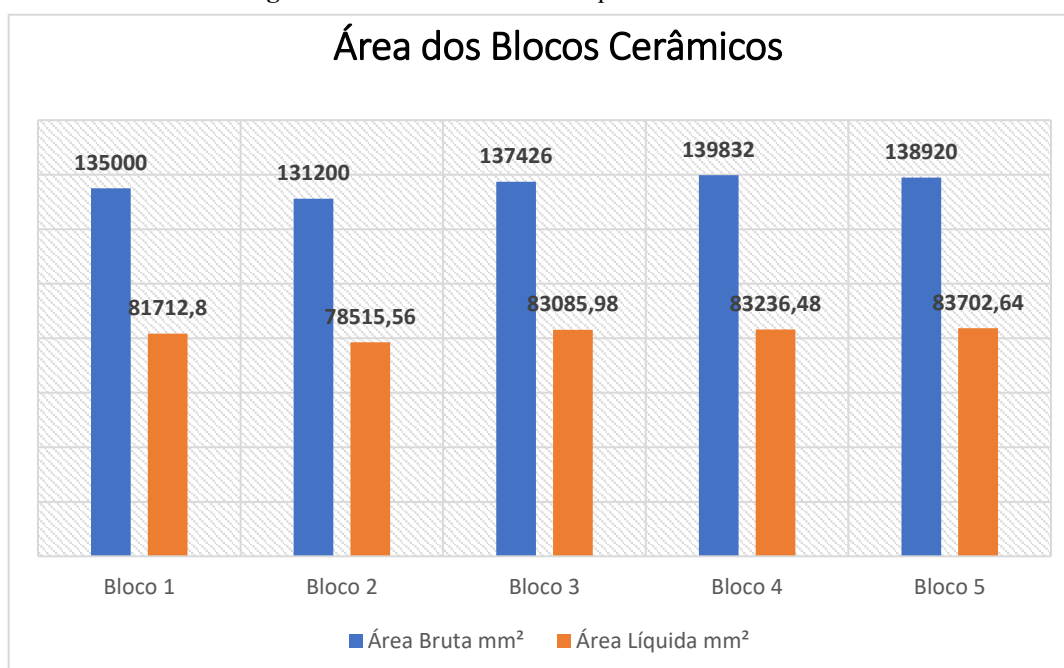
**Tabela 2:** Medidas de comprimento, altura e largura dos blocos cerâmicos.

Blocos	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)
1	190	180	90
2	185	178	90
3	190	183	91
4	192	188	89
5	190	187	90

Fonte: Elaboração própria, 2022.

A Figura 4 apresenta o comparativo entre a Área Bruta e a Área Líquida dos 5 (cinco) blocos.

**Figura 4:** Área Bruta × Área Líquida dos blocos cerâmicos.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

Com os valores acima apresentados é possível calcular a porcentagem de Área Líquida em cada um dos blocos, e, assim, verificar se estão de acordo com a NBR 15270-1:2005, que estabelece que os blocos cerâmicos para alvenaria de vedação devem apresentar área líquida igual ou inferior a 75% da área bruta. A tabela abaixo apresenta o percentual de área líquida dos cinco blocos avaliados (ABNT, 2017).

**Tabela 3:** Percentual de Área Líquida dos Blocos Cerâmicos.

Blocos	Percentual de Área Líquida (%)
1	61 %
2	60 %
3	60 %
4	60 %
5	60 %

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Como todos os blocos apresentaram Área Líquida menor que 75% da Área Bruta, então eles estão de acordo com a NBR 15270-1:2005, e são classificados como blocos cerâmicos para alvenaria de vedação.

### Blocos de concreto

Os Blocos analisados devem estar de acordo com a NBR 6136:2014, que define Bloco Vazado de Concreto Simples, como sendo um componente para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta (ABNT, 2007).

Foram realizadas medições das paredes do bloco (P1; P2; P3; P4 e P5), das distâncias entre elas (X1; X2; Y1 e Y2), do comprimento (C), da altura (H) e da largura (L) externas (Figura 7).

As Tabelas 4 a 6 apresentam os valores das medidas realizadas em uma amostra de 5 (cinco) blocos:

**Tabela 4:** Medidas das paredes dos blocos de concreto.

Blocos	P1 (mm)	P2 (mm)	P3 (mm)	P4 (mm)	P5 (mm)
1	22,78	19,72	22,84	23,24	21,58
2	23,00	19,05	21,63	22,45	23,14
3	22,62	19,17	22,60	22,36	22,64
4	21,87	21,18	23,55	23,47	22,85
5	22,14	20,63	22,75	21,88	21,74

Fonte: Elaboração própria, 2022.

**Tabela 5:** Medidas de comprimento, altura e largura dos blocos de concreto.

Blocos	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)
1	384	190	140
2	380	185	138
3	385	180	135
4	385	180	140
5	387	185	138

Fonte: Elaboração própria, 2022.

**Tabela 6:** Medidas das distâncias entre as paredes dos blocos de concreto.

Blocos	X1 (mm)	X2 (mm)	Y1 (mm)	Y2 (mm)
1	155,06	158,77	96,50	96,18
2	157	155,78	95,5	95,5
3	156,7	160,7	93,21	93,21
4	155,56	159,5	96,95	96,95
5	158,77	161,87	95,23	95,23

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Para o cálculo da área bruta, usamos os valores do comprimento (C), altura (H) e largura (L) foi utilizada a Equação (1).

### Análise do custo-benefício

Foram coletados os preços dos blocos: cerâmico 09x19x19cm e de concreto 14x19x39 em cinco lojas virtuais de materiais de construção. Com base nos dados coletados foi calculada a média aritmética dos valores para determinar o preço médio destes blocos no mercado. A Tabela 7 abaixo apresenta os valores coletados.

**Tabela 7:** Preços dos blocos.

Tipode Bloco	Loja 01	Loja 02	Loja 03	Loja 04	Loja 05	Média
<b>Bloco Cerâmico</b>	R\$ 0,84	R\$ 0,94	R\$ 1,28	R\$ 0,72	R\$ 1,00	R\$ 0,96
<b>Bloco de Concreto</b>	R\$ 3,99	R\$ 2,98	R\$ 3,29	R\$ 1,87	R\$ 2,29	R\$ 2,88

**Fonte:** Elaboração própria, 2022.

Supondo que uma determinada construção terá 200 m<sup>2</sup> de construção com blocos de vedação temos os seguintes valores médios para a compra de cada um dos três tipos de blocos (Tabela 8):

**Tabela 8:** Quantidade e custo de aquisição dos blocos para construir 200m<sup>2</sup>.

Tipo de Bloco	Quantidade necessária	Custo
<b>Bloco Cerâmico</b>	5.237	R\$ 5027,52
<b>Bloco de Concreto</b>	2.650	R\$ 7632,00

**Fonte:** Elaboração própria, 2022.

No uso de blocos cerâmico e de concreto têm-se gastos adicionais com camadas de revestimento. Os dois procedimentos mais utilizados e seus respectivos custos são apresentados abaixo:

- Chapisco c/ argamassa de cimento e areia s/ peneirar traço 1:3 Esp.= 5mm P/ parede: R\$ 4,64 (SEINFRA, 2016).
- Reboco c/argamassa de cal em pasta e areia peneirada traço 1:3 esp.= 5mm p/parede: R\$ 16,19 (SEINFRA, 2016).

Somando-se os dois valores têm um total de R\$ 20,83. Este último multiplicado pela área de 200 m<sup>2</sup> da construção hipotética acima apresentada resulta no valor de R\$ 4166,00. A nova tabela é formada por:

**Tabela 9:** Quantidade, custo de aquisição dos blocos, custo de revestimento e custo total para construir 200m<sup>2</sup>.

<b>Tipo de bloco</b>	<b>Quantidade necessária</b>	<b>Custo da compra dos blocos</b>	<b>Custo do revestimento</b>	<b>Custo total</b>
<b>Bloco Cerâmico</b>	5.237	R\$ 5027,52	R\$ 4166,00	R\$ 9193,52
<b>Bloco de Concreto</b>	2.650	R\$ 7632,00	R\$ 4166,00	R\$ 11798,00

**Fonte:** Elaboração própria, 2022.

Com base nos resultados acima apresentados o bloco que cobre a maior área com menores quantidade e custo é o bloco de cerâmico 09x19x19cm se levarmos também em consideração o conforto térmico e acústico, os blocos cerâmicos levam vantagem em relação aos blocos de concreto. Logo, o bloco que melhor concilia custos e benefícios é o bloco cerâmico.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Todos os blocos, cerâmicos e de concreto, apresentaram Área Líquida menor que 75% da Área Bruta, estando de acordo com a NBR 15270-1:2005 e a NBR 6136:2014, respectivamente, sendo classificados como blocos cerâmicos para alvenaria de vedação e blocos vazados de concreto simples (ABNT, 2007, 2017).

Segundo Correa e Andery (2006) uma forma de reduzir os custos e melhorar a qualidade na construção de edifícios é o desenvolvimento de projetos para a produção, principalmente na alvenaria de vedação.

Conforme dados do PSQ – Programa Setorial da Qualidade (2011) pode-se ter uma economia no consumo de blocos cerâmicos se eles estiverem dentro dos padrões da ABNT, NBR-15.270.

É inegável que o controle sobre os materiais atualmente é bem maior do que há duas décadas. A partir do momento que a disponibilidade de material passa a ser estratégica para o término das obras e a pressão por diminuição de custos alcançam níveis antes intoleráveis, o grau de exigência em relação à qualidade dos insumos empregados acaba por ser, em alguns casos, relativizada (MISSURELLI & MASSUDA, 2009).

Foi verificado que ambos os blocos estão de acordo com suas normas regulamentadoras. Entretanto os blocos cerâmicos para alvenaria de vedação se saíram melhores que os blocos de concreto, considerando o melhor custo-benefício, melhor conforto térmico, facilidade da mão de obra, custo do material e melhor facilidade de compra.



No decorrer deste trabalho, podemos observar que os resultados financeiros e a viabilidade de cada um dos blocos foram satisfatórias, pois concluímos que os dados obtidos foram benéficos o do bloco cerâmico, utilizado como base o uso de uma área de 200m<sup>2</sup> para chegar a esse resultado.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2:2017. Componentes Cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos.** Rio de Janeiro, 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136:2014. Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria-Requisitos.** Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.construpac.com.br/pdf/nbr6136.pdf>>. Acesso em: 10 de setembro de 2021.

BARBOSA, F. B. et al. Um comparativo entre os blocos cerâmicos utilizados nas edificações de Caruaru: estudos preliminares. II Semana Nacional de Ciência e Tecnologia do IFPE. Instituto Federal de Pernambuco, 2011.

BARTUCCI, M. J. Vantagens e desvantagens da alvenaria de vedação e alvenaria estrutural.

CORRÊA, C. V.; ANDERY, P. R. P. Dificuldades para a implementação de projetos para a produção de alvenaria: um estudo de caso. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 1, n. 1, p. 104-125, 2006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50895>. Acessado em 15 de fev. 2022.


INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO DA ARQUITETURA - IBDA. **Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto.** 2015. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=7&Cod=957>>. Acesso em: 06 de setembro de 2021.

LOPES, R. F. R. et al. Análise experimental de uma parede de alvenaria estrutural de blocos de concreto de três células em situação de incêndio. **Concreto e Construções**, v. 90, p. 86-94, 2018.

MISURELLI, H.; MASSUDA, C. Paredes de Concreto. 2009. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/147/artigo285766-1.aspx>>. Acesso em: 24 nov. 2021.

NASCIMENTO, O. L. **Alvenarias.** Instituto Brasileiro de Siderurgia/Centro Brasileiro da Construção em Aço. 54p. Rio de Janeiro: 2004.

PEREIRA, C. Principais tipos de sistemas construtivos utilizados na construção civil. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-sistemas-construtivos/>. 13 de set. de 2021.



PEREIRA, C. Bloco de concreto: Tipos, dimensões e como estocar. Escola Engenharia, 2019. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/bloco-de-concreto/>. Acesso 15 de set. de 2021.

PEREIRA, C. Alvenaria de Vedação – Vantagens e Desvantagens. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/alvenaria-de-vedacao/>. Acesso em: 20 de out. de 2021.

PEREIRA, T. S. et al. Estudo Comparativo entre alvenaria estrutural e alvenaria de vedação comum. 8º Encontro de Tecnologia da Universidade de Uberaba. 2014. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/biochemistryproceedings/8entec/012.pdf>. Acesso em: 07 de nov. de 2021.

SILVEIRA, R. F. Aspectos estratégicos na utilização do projeto do sistema de produção para obras de construção civil: um estudo de caso. Orientador: Glicério Trichês. 2017. 197p. Dissertação (Mestrado) – Programa de pos-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/176749/346599.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso 15 de set. de 2021.

Terra Notícias. O setor de construção civil está em alta, possibilitando o retorno dos executivos ao trabalho segundo especialistas em outplacement Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/dino/o-setor-de-construcao-civil-esta-em-alta-possibilitando-o-retorno-dos-executivos-ao-trabalho-segundo-especialistas-em-outplacement,116fb1bbf531aac156822f7d478f19ff44o8y8ic.html>. Acesso em 22 de out. de 2021.

# CAPÍTULO 9

## COMPATIBILIZAÇÃO E ELABORAÇÃO DE PROJETOS COM APLICAÇÃO BIM COMPATIBILIZATION AND ELABORATION OF PROJECTS WITH BIM APPLICATION

**Gustavo Souza da Silva**  
**Felipe da Cruz Dias**

### RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo central traçar um estudo teórico e qualitativo a respeito da Ferramenta Building Information Modeling (BIM), a qual representa, na atualidade, uma nova geração de tecnologia para ferramentas CAD inteligentes. Levando em consideração como o desenvolvimento tecnológico tem tornado possível o suprimento das exigências do mercado de Engenharia Civil, muitas empresas deste ramo já vêm atentando-se para a tendência de modernização de seus métodos, a partir da transição de projeções bidimensionais (2D) para modelos tridimensionais (3D). Com um novo paradigma de modelagem, surge também o conceito BIM enquanto uma nova técnica de desenvolvimento dos projetos na área de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), em busca de melhorias na colaboração, interoperabilidade e reutilização da informação. Diante de tudo isso, o estudo aborda, através de uma revisão bibliográfica, os principais aspectos da implantação do BIM na Engenharia Civil, a fim de compreender as vantagens e os desafios da implantação desta tecnologia.


**PALAVRAS-CHAVE:** Building Information modeling. Arquitetura. Engenharia.

### INTRODUÇÃO

Sabe-se que a indústria da Construção Civil representa, no Brasil, uma parcela significativa da movimentação econômica, atuando de forma importante no PIB, e conseqüentemente, na geração de emprego e renda para o país. Trata-se de um setor cujo crescimento reflete direta e proporcionalmente o crescimento econômico, de maneira que, a busca pelo seu aprimoramento deve ser constante.

Nesse sentido, destaca-se a importância do desenvolvimento de tecnologias capazes de aperfeiçoar os processos neste campo, tendo em vista que, com os inúmeros avanços tecnológicos alcançados nas últimas décadas, existe atualmente no mercado a disposição de várias ferramentas que buscam minimizar, e até mesmo extinguir, muitos dos problemas que persistem na construção civil.

Sobre o assunto, destaca-se que este setor ainda encontra-se no caminho para alcançar “as eficiências atingidas na indústria seriada por meio da automação, do uso de sistemas de



informação, de um melhor gerenciamento da cadeia de suprimentos e de ferramentas de colaboração aperfeiçoadas” (EASTMAN et al. (2014, p. 9).

Diante desta realidade, pode-se afirmar que a indústria da construção civil nem sempre consegue apresentar os níveis desejados de qualidade, produtividade, segurança, prazos e custos, de modo que, conforme indica Prates (2010), para o avanço do setor, deve-se buscar a colaboração entre três eixos, quais sejam: a interoperabilidade técnica e a difusão da construção industrializada aberta; o fortalecimento e aumento da inovação no setor; e a qualificação de recursos humanos.

Assim, diante desta necessidade de otimizar determinados processos construtivos no ramo da Engenharia Civil, foi necessário encontrar soluções para enfrentar uma estagnação implementada na realização dos projetos, e é neste contexto que surgem os BIM (Building Information Modeling), cuja proposta básica é a integralização do processo construtivo desde a concepção do projeto até seu uso, manutenção e possível demolição.

Nesse sentido, salienta-se que a computação gráfica, de fato, significa inovação para o mercado da arquitetura e da engenharia civil por meio da invenção da tecnologia CAD desde os anos 1980, sendo importante dizer que estes sistemas estão voltados para a criação e manipulação de desenhos técnicos oferecendo ferramentas que trazem flexibilidade, facilidade de modelagem, banco de dados e compartilhamento de projetos, além, do crescimento da qualidade e produtividade dos desenhos e redução de tempo e custos.

Assim, enquanto uma tecnologia muito bem aplicada e bem sucedida, principalmente nestes campos de aplicação, o CAD passou por um processo de evolução e aprimoramento em seu uso, sendo que, nos últimos anos desenvolveu-se para chegar ao conceito BIM, um novo caminho para a representação do Edifício Virtual, onde objetos digitais são codificados para descrever e representar componentes do real ciclo de vida da construção.

Diante de tudo isso, o presente trabalho busca traçar um estudo teórico e qualitativo a respeito da ferramenta BIM, fazendo um esforço para, a partir da conceituação e caracterização sólida do tema, abordar seus principais aspectos, fazendo, assim, uma análise profunda de sua implementação na Construção Civil. Para tanto, utiliza-se uma metodologia bibliográfica, fundamentada principalmente na revisão da literatura, buscando em artigos, periódicos, obras completas e demais publicações acadêmicas e científicas que se mostrem úteis a pesquisa em tela, a fim de alcançar os objetivos propostos.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Aplicação do BIM na área da construção civil

Diante de todos estes apontamentos, é incontestável que, em se tratando da indústria de AEC, a adoção dos sistemas BIM mostra-se como uma importante ferramenta, já que, é capaz de auxiliar na integração dos processos a partir da eliminação de ineficiências e redundâncias, aumentando, assim, a colaboração e comunicação, com o propósito de garantir melhores resultados de produtividade, como bem explica Campbell (2007).

Nesse ínterim, não há dúvidas de que o BIM possibilita uma maior integração de projetos e de todos os processos envolvidos na construção, o que repercute numa maior qualidade para o edifício, com um menor custo e redução do tempo de projeto. (EASTMAN et al., 2008).

Nessa perspectiva, conforme salienta Kymmell (2008), o uso de modelos 3D permite também maior interação, já que a compreensão do projeto passa a ser acessível a todos os envolvidos no mesmo, ou seja, não fica limitada apenas àqueles que conhecem as simbologias e representações de desenho, o que, conseqüentemente, facilita o entendimento do próprio cliente e do usuário final e contribui para formulação de soluções mais alinhadas às suas necessidades.

Vale dizer que, como informa Bazjanac (2004), apesar dos esforços dos fabricantes de softwares e de organizações para promover o uso do BIM nas áreas da construção, a grande maioria dos projetos de edifícios ainda hoje é desenvolvida a partir do método tradicional, com desenhos 2D e documentos de texto.

Ainda segundo este último autor, o setor de projetos geralmente está se mostrando resistente à mudança em direção a esse novo modelo de informação trazido pelo BIM, sendo que, as causas para esta situação de resistência são diversas, dentre as quais, pode-se citar, o longo processo de aprendizagem, a falta de tempo e recursos financeiros dos escritórios de projeto e a deficiência dos softwares.

### Processo de implantação

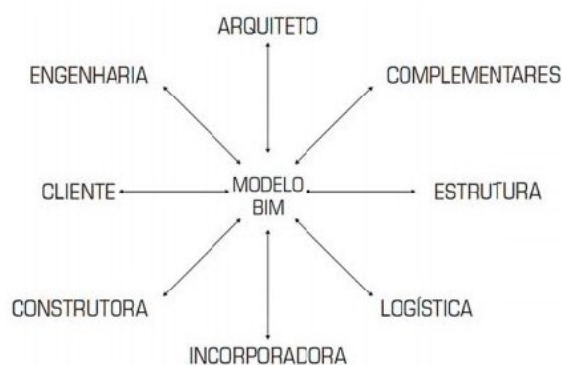
Para implantação de um Modelo de Informação da Construção (BIM) exige-se uma mudança paradigmática no processo de elaboração dos projetos e dos envolvidos, uma nova rotina de trabalho, novos treinamentos, enfim, uma verdadeira mudança cultural.

Isso porque, conforme aponta Checcucci e Amorim (2011), a modelagem da informação da construção envolve uma grande complexidade de conceitos, além de ferramentas sofisticadas e processos pouco definidos, com características diversas, que objetivam melhorar os índices de produtividade, qualidade e durabilidade da construção, reduzir desperdícios de materiais, mão de obra e outros recursos, aumentar o controle sobre os processos envolvidos no projeto, na construção e na utilização das edificações, dentre outros.

Nessa perspectiva, sua implantação demanda, de fato, esforços significativos não só na área de software, mas também de equipamentos e pessoal, de forma que, a escolha por esta transição dá início a um processo de inovação tecnológica e organizacional na empresa, sendo que, para que seja bem sucedida, deve-se estabelecer claramente os objetivos da nova tecnologia e empreender uma análise precisa no vultu institucional.

Nesse contexto, é responsabilidade da direção e da gestão optar por aderir às diretrizes do IFC, entendendo, dessa maneira, que os projetos serão elaborados por qualquer software aplicado a este conceito, ou ainda por uma padronização fechada em que se mantém a interoperabilidade no programa limitando a um só fabricante do início ao fim. Na Figura 1, abaixo, pode-se observar, respectivamente, um ponto de vista reduzido a respeito da interoperabilidade, fundamentada na facilidade e clareza de comunicação de um sistema com outro sistema meio, e outro mais abrangente a respeito da interoperabilidade, que fundamenta-se nas ferramentas BIM:

**Figura 1:** interoperabilidade da perspectiva BIM.



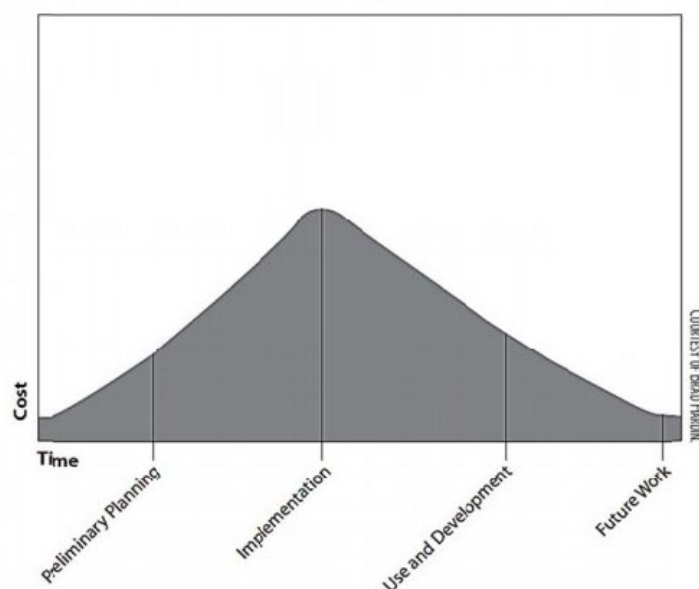
**Fonte:** Tardif, 2009.

Isso posto, cumpre, neste momento, discorrer a respeito das suas etapas ou estágios de implementação. Sobre o assunto, Tobin (2008) afirma que existem três fases de adoção do BIM. A primeira, chamada convencionalmente de BIM 1.0, compreende o momento em que arquitetos e engenheiros começam a utilizar ferramentas BIM em seus escritórios, porém de

forma isolada, sem troca de informações, objetivando basicamente a facilidade na visualização do projeto.

Na sequência, a fase BIM 2.0 acontece efetivamente quando os projetistas discutem sobre a colaboração com os demais profissionais envolvidos, acrescentando informações úteis como o custo e o tempo do projeto. Sobre este fator, importante destacar que detalhar uma estimativa de tempo e custo é essencial para montar um plano de investimento relativo à licença de uso de softwares, compra de equipamentos, além de possíveis despesas a longo prazo, conforme demonstra a Figura 2 a seguir, onde a linha horizontal ilustra o tempo, e a vertical o custo, deixando claro que é na fase de implementação onde está concentrada a maior parte dos investimentos:

**Figura 2:** Tempo X custo de implementação.



**Fonte:** Hardin, 2009.

A última fase apontada por Tobin (2008) trata-se do BIM 3.0, que consiste no momento em que os modelos parciais são unificados em uma base de dados centralizada, hospedada em um servidor acessível de qualquer lugar e disponibilizada para todos os projetistas, sendo possível que cada um altere apenas a parte pela qual é responsável.

Nesse sentido, pode-se dizer que, em síntese, a implementação do BIM corresponde a um plano estruturado prévio de aquisição de programa, somado a um cronograma de treinamento, atualizações dos computadores, entre outras demandas preparatórias.

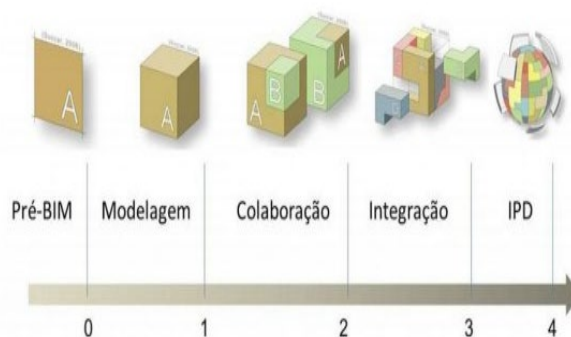
Dada a própria complexidade do processo, observa-se que sua implementação total pode levar tempo, até mesmo anos, motivo pelo qual é importante que a estrutura seja flexível e

adaptável a novas tecnologias e as próprias modificações que acontecem de forma contínua durante a implantação.

Por isso mesmo, os estudiosos do assunto apontam que é relevante a própria empresa formular cursos, manuais e tutoriais com intuito de auxiliar na aprendizagem, bem como de servir de referência para o ensino aos funcionários e para pesquisas de aperfeiçoamento, os quais devem ser contínuos após a adoção da metodologia BIM.

Ainda no tocante à classificação por estágios, vale dar especial destaque para aquela que é a mais conhecida e utilizada, qual seja, a proposta por Succar (2009), na qual encontra-se uma divisão da tecnologia BIM em estágios de implantação ilustrados na figura 3, logo abaixo:

**Figura 3:** Estágios de implementação do BIM.




Fonte: Succar, 2009.

O estágio zero ou pré-BIM, notadamente baseado em desenhos CAD 2D e visualizações 3D, caracteriza-se pela inexistência de associação entre os documentos criados no processo de projeto, ou seja, não existe ainda a colaboração entre os projetistas, de modo que, o processo é sequencial e não sincronizado. (MANZIONE, 2013).

O estágio um, da modelagem, é considerado o momento inicial de fato da implementação do BIM, com a modelagem em separado para cada especialidade, através do auxílio dos softwares. Assim, passa-se para etapas importantes, como a criação automática de desenhos, a compatibilização de projetos, as visualizações 3D com tabelas de quantitativos de portas, volumes de concreto, etc. Neste estágio, todavia, a forma de trabalho continua sendo não colaborativa, de forma que, as trocas de informações são unidirecionais.

Já no estágio dois, de colaboração, como o próprio termo indica, passa a existir enfim a troca de informações e projetos entre os diversos agentes. Dessa forma, os usuários adquirem habilidade na modelagem de cada especialidade e começam o processo de colaboração com a troca de arquivos em formatos proprietários ou de exportações no formato IFC entre softwares em BIM. (MANZIONE, 2013).





Dessa maneira, as colaborações podem acontecer dentro de uma ou duas fases do ciclo de vida da obra como um todo, sendo que, a colaboração é realizada diretamente nos modelos de BIM, eliminando os documentos tradicionais, lembrando-se que o nível de informação aumenta conseqüentemente a necessidade de delimitação de responsabilidades, que tende a aumentar.

Já no estágio três, da integração, é feita a colaboração do modelo entre os envolvidos, tornando finalmente possível a utilização de um programa de armazenamento virtual e de formatos protegidos com linguagem IFC. Assim, a aplicação do conceito de modelagem da informação da construção aparece em sua totalidade, gerando modelos sofisticados, compartilhados e mantidos de forma colaborativa por todo o ciclo de vida da obra. (MANZIONE, 2013).

O quarto e último estágio é o IPD, que significa Integrated Project Delivery, ou em português, Entrega do Projeto Integrado. Ele é alcançado no momento em que as relações contratuais são modificadas para realização da colaboração plena e efetiva entre todos os envolvidos. (MANZIONE, 2013).

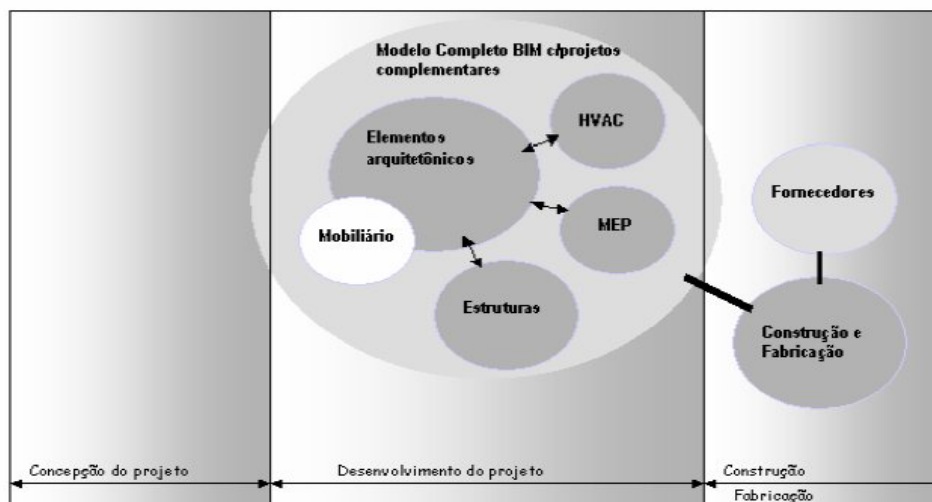
Assim, a colaboração dos usuários é a característica basilar desse estágio. As convicções ou princípios do IPD são, nesse sentido, segundo o American Institute of Architects (Instituto Americano dos Arquitetos): respeito e confiança mútuos; benefícios mútuos e recompensas; inovação e decisões feitas em conjunto; envolvimento de todos os agentes e definição dos objetivos no princípio do processo; planejamento intenso; comunicação aberta; tecnologia adequada; organização; e liderança. (MANZIONE, 2013).

### **Perspectivas e desafios para a construção civil**

Compreendidos todos os aspectos históricos, conceituais e caracterizadores da tecnologia BIM, pode-se, então, chegar ao apontamento de seus benefícios, sua importância no contexto da Construção Civil e sobre as perspectivas de utilização e consolidação das suas ferramentas e, assim, importa falar de seus desafios na atualidade.

Seguindo esta linha de raciocínio, a figura 4 ilustra o modelo completo com a implementação dos projetos complementares:

Figura 4: Modelo integrado de BIM.




Fonte: Ibrahim & Krawczyk, 2004.

Assim, pode-se dizer que, o principal benefício da implementação do modelo BIM decorre da capacidade de compartilhar um único modelo digital integrado e consistente, capaz de suportar todos os aspectos no ciclo de vida do projeto da construção, por meio de dois fatores, que merecem destaque especial.

O primeiro é o aspecto da Colaboração, uma vez que, as exigências do mercado competitivo somadas à complexidade cada vez maior dos produtos conduzem ao uso de ferramentas computacionais e tecnológicas compatíveis, de maneira que, atualmente, acredita-se na Modelagem da Informação da Construção como de fundamental importância para a integração do processo e gerenciamento da informação no processo da Construção Civil. (TAVARES JUNIOR, 2001).

Dessa maneira, uma das principais vantagens da utilização dos modelos BIM está na coordenação das informações que é assegurada através de um repositório de informações padronizadas de desenhos da construção, as quais contém dados já embutidos que vão sendo acrescentados no decorrer do processo pelos diversos envolvidos no desenvolvimento do produto da construção, o que, por sua vez, garante a qualidade e a integridade do modelo.

Outro fator de evidencia a importância da implementação do modelo BIM é a simulação, que é definida por Flório (2005, p. 9) como a “experiência ou ensaio realizado com o auxílio de um modelo digital”. Significa dizer que, por meio da simulação, torna-se possível obter uma visão sistêmica do projeto. Conforme explica Tavares Junior (2001), esta abordagem possibilita a compreensão da totalidade e, ao mesmo tempo, das partes inter-relacionadas e interdependentes que interagem no projeto de construção.




Ainda sobre o assunto das vantagens da tecnologia BIM, destaca-se que, a General Services Administration (GSA) dos Estados Unidos, através do seu Serviço Público da Construção (PBS), já exige o uso dos sistemas BIM, apontando os seguintes benefícios de sua implantação:

- Visualizações 3D permitem aos clientes verem a preservação histórica e o contexto local com respeito para novos projetos;
- Permitem através da coordenação 3D reduzir erros e omissões;
- Modelos 4D permitem aos clientes visualizar e otimizar fases do projeto e seqüência da construção;
- Permitem a GSA calcular automaticamente dados de espaço relevantes (como área de rede e raio de eficiência);
- Durante fase de estudo preliminar e concepção final do projeto, a GSA pode avaliar os requisitos do programa espacial mais exatamente e rapidamente que o método tradicional em 2D;
- Permitem equipes de projeto conduzir com mais eficiência, exatidão e segurança as simulações de energia para prever o desempenho da construção durante as fases de operações.

Além disso, é certo que a adoção de uma tecnologia BIM implica em um maior tempo gasto na elaboração do projeto e do planejamento das atividades, o que, por outro lado, reduz, sem dúvidas, a quantidade de decisões a serem tomadas com urgência e conseqüentemente os imprevistos na obra, contribuindo para a qualidade final do produto.

Não há dúvidas ainda que, a tecnologia BIM facilita a colaboração entre as diversas disciplinas de um projeto, já que, o uso de um modelo 3D único possibilita o trabalho simultâneo dos diversos profissionais, sendo que, a diferença fundamental entre a engenharia simultânea (onde todos os projetistas trabalham e alimentam os projetos ao mesmo tempo) e a engenharia sequencial (onde cada projetista faz seu projeto e o envia ao projetista seguinte) é que na primeira, é dada uma maior atenção nas fases de concepção, estruturação e desenvolvimento do projeto, reduzindo revisões, retrabalhos e, conseqüentemente, o período de execução da obra. Dessa forma, é possível controlar melhor as modificações e tomar decisões antes dos diversos projetos atingirem fases avançadas.



Importante destacar, contudo, que acompanhar e compreender todos estes avanços têm sido um desafio para os profissionais usuários destes sistemas. Nesse sentido, não se pode deixar de mencionar que o modelo BIM possui recursos de coordenação da informação entre colaboradores em ambiente de rede extranet, porém, isso exige um planejamento nas regras de acesso aos dados e busca de padronização para evitar conflitos de comunicação.

Conforme Fu et al. (2006), para que a integração do modelo BIM seja eficiente é necessário que a modelagem seja feita com entradas dos componentes básicos da construção (paredes, coberturas, etc.), e seus elementos mais detalhados (portas, janelas, etc.), descritos de acordo com a metodologia de construção e dimensionados de forma exata ao edifício real.

Segundo a lição de Tse e Wong (2005, p. 11), os principais desafios para a consolidação das tecnologias BIM no campo da AEC são:

- Mudança na prática arquitetônica, com a utilização adequada ao potencial da ferramenta;
- Dificuldade de adequação de objetos ao projeto;
- Poucas possibilidades de customização dos objetos;
- Complexidade da ferramenta consumindo tempo para modelagem;
- Falta de treinamento e apoio técnico;
- Custos extras para adquirir módulos complementares;
- Indisponibilidade para avaliação do software de forma gratuita.

## **METODOLOGIA DO TRABALHO**

Diante de tudo isso, o presente trabalho busca traçar um estudo teórico e qualitativo a respeito da ferramenta BIM, fazendo um esforço para, a partir da conceituação e caracterização sólida do tema, abordar seus principais aspectos, fazendo, assim, uma análise profunda de sua implementação na Construção Civil. Para tanto, utiliza-se uma metodologia bibliográfica, fundamentada principalmente na revisão da literatura, buscando em artigos, periódicos, obras completas e demais publicações acadêmicas e científicas que se mostrem úteis a pesquisa em tela, a fim de alcançar os objetivos propostos.

## APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para finalizar de forma objetiva e sintética o assunto, é válido trazer as formulações do estudo proposto por Checcucci e Amorim (2011), cujas análises das características da implantação da tecnologia BIM em quatro dimensões apresenta, ao mesmo tempo, suas vantagens e desafios, como se vê nos quadros a seguir:

**Quadro 1:** Atributos próprios da tecnologia BIM.

Variável	Característica
Aspectos qualitativos	<ul style="list-style-type: none"><li>- Possibilitando o trabalho simultâneo de uma equipe multidisciplinar, os erros e retrabalhos são reduzidos.</li><li>- O tempo é otimizado.</li><li>- É possível dar suporte nas fases de manutenção e operação da edificação.</li></ul>
Aspectos econômico-financeiros	<ul style="list-style-type: none"><li>- São necessários investimentos em atualização, treinamentos e aquisição de programas e equipamentos.</li><li>- Gerará benefícios financeiros nas etapas de construção e manutenção.</li></ul>
Complexidade	<ul style="list-style-type: none"><li>- Demanda profissionais com uma visão holística sobre a edificação e que saibam trabalhar com pessoas de diversas áreas.</li><li>- Necessita padrões para intercâmbio de dados.</li><li>- Devem-se definir quais informações cada profissional deverá inserir no modelo e como será feita a proteção dos dados.</li></ul>
Possibilidade de experimentação	<ul style="list-style-type: none"><li>- É necessário testar a tecnologia no ambiente de trabalho, porém isto aumenta os custos de adoção e demanda certo tempo, desestimulando a implantação.</li></ul>
Visibilidade	<ul style="list-style-type: none"><li>- A adoção da tecnologia permite a visibilidade de resultados como a redução do tempo de projeto, aumento da produtividade, entre outros.</li></ul>

**Fonte:** Checcucci e Amorim, 2011.

**Quadro 2:** Atributos dos fornecedores e desenvolvedores de software.

Variável	Características
Foco no cliente	- Quanto maior o investimento na formação de recursos humanos aptos a trabalhar com BIM, maior será sua taxa de adoção.
Divulgação	- Sente-se falta de bibliografia nacional sobre o tema. Necessita-se a elaboração de metodologias de trabalho confiáveis e adequadas.
Redução do risco	- Os riscos de adoção podem ser reduzidos implantando simultaneamente a tecnologia por equipes multidisciplinares e contratando consultores experientes para auxiliar o processo.
Dependência do fornecedor	- A adoção do IFC (formato padrão) tende a minorar a dependência a uma ou outra plataforma.

Fonte: Checcucci e Amorim, 2011.

**Quadro 3:** Atributos próprios da Construção civil.

Variável	Características
Externalidades de rede	- A maioria dos escritórios no Brasil, que utilizam BIM, se encontram no nível 1.0 (sem foco no trabalho multidisciplinar).
Pressão competitiva	- A tendência é que quanto mais empresas utilizem BIM, maior será a pressão competitiva para que todas as empresas o adotem.
Características da cadeia produtiva	- Percebe-se que construtoras e incorporadoras com maior aporte financeiro têm maiores chances de serem os pioneiros na adoção de BIM. Dessa forma, influenciam escritórios e empresas menores a adotarem a tecnologia.
Regulamentação governamental	- A exigência de desenvolvimento de projetos utilizando BIM por parte de entidades governamentais, induziria o crescimento da taxa de adoção da tecnologia. (GT-BIM).

Fonte: Checcucci e Amorim, 2011.

**Quadro 4:** Características das empresas adotantes.

Variável	Características
Rede social	- A construção de redes de colaboração e equipes multidisciplinares facilita a adoção de BIM.
Disposição da alta administração para inovar	- Uma vez que a implantação demanda tempo e custo, é necessário que a alta administração da empresa esteja ciente destes fatores e acredite nos benefícios do BIM a longo prazo.

Fonte: Checucci e Amorim, 2011.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de todo o exposto neste trabalho, pode-se dizer que os BIM despontam como uma tecnologia de complexidade e potencialidade elevada que abrange todo ciclo de vida de uma construção. Trata-se de um conjunto de informações a respeito de um edifício, a partir do qual é possível criar um modelo digital 3D que integra todas os dados do projeto, como estruturas, custos, tempo, etc, facilitando principalmente a visualização do resultado final, bem como a cooperação entre os diferentes profissionais envolvidos.

Assim, ressalta-se que a colaboração entre as diversas disciplinas de um projeto é facilitada com a implantação da tecnologia BIM, sendo que, um modelo 3D único possibilita o trabalho simultâneo dos diversos especialistas. Isso faz com que seja possível dispensar a devida atenção às fases de concepção, estruturação e desenvolvimento do projeto, reduzindo revisões, retrabalhos e, conseqüentemente, imprevistos e o período de execução da obra como um todo. Dessa forma, é possível controlar melhor as modificações e tomar decisões antes dos diversos projetos atingirem fases mais avançadas.

Resta, portanto, entendido que as ferramentas BIM abrem as portas da interoperabilidade entre especialistas, destacando-se na atualidade como a melhor possibilidade de solução de erros graves na execução de projetos de AEC, que ainda hoje são muito frequentes, sendo, na sua maioria, relacionados com uma ineficaz comunicação entre os vários participantes nessa obra. Assim, a adoção desta tecnologia torna-se um passo importante para o futuro da Engenharia Civil, tendo em vista que tem uma importância significativa no setor da construção.

Os BIM já são usados em larga escala no exterior, principalmente nos países europeus e nórdicos. Apesar disto, a utilização dos BIM no Brasil ainda está numa primeira fase de implantação, necessitando de aperfeiçoamentos e principalmente de maiores estudos e

aplicações, levando em conta seu enorme potencial para aperfeiçoar a indústria da construção civil, que, no contexto nacional, precisa urgentemente superar a aceitação de uma baixa produtividade, com desperdício e perda incorporada em toda a cadeia produtiva.

Conclui-se que esta tecnologia dos BIM pode contribuir muito para a evolução de técnicas de projeção de edifícios, facilitando esta tarefa e levando a uma melhor compreensão do resultado final das obras. Em complementaridade, pode-se afirmar que, a melhoria na indústria da construção traz benefícios também para a sociedade de forma geral, pois edificações mais eficientes apresentam custos menores, consomem menos energia, menos trabalho, menos riscos e menos tempo para serem concluídas. Sem dúvidas, os BIM vieram abrir o caminho para uma comunicação mais fácil, completa e concisa entre arquitetos, engenheiros, empreiteiros, proprietários, enfim, os vários especialistas envolvidos num projeto de construção, que podem visualizar o modelo de diferentes perspectivas. Assim, espera-se que este trabalho desperte a atenção devida em relação a estes softwares, bem como para a necessidade da aprendizagem da utilização dos BIM, que deveria fazer parte do percurso acadêmico dos profissionais da área de AEC há muito tempo.

## REFERÊNCIAS

BAZJANAC, V. **Virtual Building Environments (VBE) - Applying Information Modeling to Buildings**. Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California. Berkeley, CA, U.S.A., 2004.

CAMPBELL, D. A. **Building information modeling: the Web3D application for AEC**. In Proceedings of the Twelfth international Conference on 3D Web Technology (Perugia, Italy, April 15 - 18, 2007). Web3D '07. ACM, New York, NY, 173-176. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1229390.1229422>>. Acesso em: 08 de out. 2021.

CARDOSO, A.; MAIA, B.; SANTOS, D.; NEVES, J.; MARTINS, M. **BIM: O que é?** Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia (FAUP). Porto: FAUP, 2013.

CHECCUCCI, E. S.; AMORIM, A. L. **Modelagem da informação da construção como inovação tecnológica**. Salvador: Tic 2011 – Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção, 2011.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. John Wiley and Sons, 2008.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R. e LISTON, K. **BIM handbook: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. 1 ed. Porto Alegre, Bookman, 2014.



FU, C. et al. **IFC model viewer to support nD model application**. Automation in Construction, n. 15, 2006, p.178- 185. Disponível em <http://www.elsevier.com/locate/autcon>. Acesso em: 25 de out. 2021.

JACOSKI, C. **Integração e Interoperabilidade em Projetos de Edificações - Uma Implementação com IFC/XML**. 2003. 219 f. Tese (Pós Graduação) - Curso de Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, Florianópolis, 2003.

KYMMEL, W. **Building Information Modeling**. Planning and managing construction project with 4D and simulations. McGraw-Hill 2008.

MANZIONE, L. **Coordenar: Consultoria de ação. Estágios de Evolução do BIM**. 2013. Disponível em: <http://www.coordenar.com.br/estagios-de-evolucao-do-bim/> Acesso em: 17 de set. 2021

PRATES, M. O. B. **O desafio do aumento da produtividade - Conjuntura Da Construção. 6 pontos de uma agenda setorial para o crescimento sustentado**. São Paulo: SindusCon SP, ano VIII, n. 4, dez. 2010. Disponível em: <https://www.sindusconsp.com.br/downloads/imprensa/conjunturaconstrucao/deze>. Acesso em: 25 de out. 2021.

SOUZA, L. L. A. **Diagnostico do uso do BIM em empresas de projeto de Arquitetura**. 2009. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp108992.pdf>. Acesso em: 18 de set. 2021.

TAVARES JR, W. **Desenvolvimento de um modelo para compatibilização das interfaces entre especialidades do projeto de edificações em empresas construtoras de pequeno porte**. Florianópolis, 2001. 124 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.

TOBIN, J. **Proto-Building: To BIM is to Build**. AECbytes. Maio, 2008. Disponível em: [http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2008/ProtoBuilding\\_pr.html](http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2008/ProtoBuilding_pr.html) Acesso em: 21 de set. 2021.

TSE, T.C.; WONG, K.D.; WONG, K.W. **The Utilisation of Building Information Models in nD Modelling: A Study of Data Interfacing and Adoption Barriers**. Journal of Information Technology in Construction, Hong Kong, 2005.

# CAPÍTULO 10

## VIABILIDADE ECONÔMICA DE INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM RESIDÊNCIAS EM BRASÍLIA-DF

**Matheus Cavalcante Ribeiro**  
**Felipe da Cruz Dias**


### RESUMO

O Brasil passa pela maior crise hídrica desde 1931, de acordo com Bento Albuquerque, atual Ministro de Minas e Energia do Brasil. E em meio a tantas consequências que este problema traz, uma tem mexido com o sono do brasileiro, os consecutivos aumentos na conta de luz. Com a escassez de água da chuva e as altas nas tarifas dos serviços de fornecimento de energia, considerar a autonomia energética tornou-se uma boa escolha. Diante disso, este trabalho propõe um estudo sobre a viabilidade econômica da instalação de sistemas de energia solar a partir de painéis fotovoltaicos em uma residência com cinco moradores, em Brasília-DF, com consumo médio de 684,49 kWh/mês. O sistema como um todo, incluindo todos os equipamentos montados e funcionando, foi orçado com o auxílio de um simulador eletrônico do Portal Solar por R\$ 47.032,87 até R\$ 52.116,22, adicionando-se cerca de 0,5% ao ano para manutenção dos equipamentos, por isso para facilitar o cálculo, o valor simbólico de R\$ 50.000,00 será usado. A conclusão deste estudo, evidenciou um *payback* (tempo existente entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor desse investimento) positivo, com retorno em pouco mais de 5 anos, sendo uma oportunidade de investimento que poderá gerar benefícios com o tempo, apesar disso é necessário levar em consideração o valor do dinheiro ao longo do tempo, por isso se comparado com um investimento simples no Tesouro Prefixado, à taxa de 10,14% ao ano, o retorno com a economia de energia não é mais atrativo que um investimento na aplicação financeira. Sendo assim, este estudo acerca de um projeto de instalação de um sistema de geração de energia elétrica solar por intermédio de placas fotovoltaicas mostrou-se inviável quando comparado a um investimento na aplicação financeira.

**PALAVRAS-CHAVE:** Crise hídrica. Energia Fotovoltaica. Energia elétrica. *Payback*. Aplicação financeira.

### INTRODUÇÃO

Diante da maior crise hídrica desde 1931, possivelmente decorrente, entre outros fatores, das sucessivas mudanças climáticas e do aquecimento global, é de se esperar que assuntos como a intensificação na utilização de recursos naturais e fontes de energias renováveis (possuem baixa emissão de gases de efeito estufa, e pequenos impactos ambientais), estejam sendo cada dia mais discutidos e considerados (PODER360, 2021). Vale recordar que o setor elétrico nacional brasileiro é um dos que mais utiliza fontes renováveis no mundo, sendo grande parte hídrica e apenas 1% energia solar, segundo o Balanço Energético Nacional de 2020 (EPE, 2020).




O Brasil enfrentou no ano de 2013 e continua enfrentando crises energéticas relacionadas ao SIN (Sistema de Geração e Transmissão Nacional), revelando muitos problemas em relação à disponibilidade dos recursos e oferta de energia (FILHO, 2013). A partir daí, discussões sobre algumas propostas foram levantadas, onde o governo adotou medidas emergenciais, investindo nos setores de energia elétrica, a fim de tentar reverter esta situação (FILHO, 2013). Segundo a EPE (2012), diversos incentivos foram implementados em outros países, a fim de que seus moradores pudessem gerar energia elétrica em suas moradias, usando sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

A energia proveniente do sol é uma energia limpa e renovável, e apesar de ainda apresentar um custo de geração bastante elevado em comparação à outras fontes mais convencionais, ela se apresenta bastante competitiva, ampliando a diversificação do suprimento elétrico do país, que hoje é demasiadamente dependente de hidrelétricas e termelétricas fósseis. Diante disso, estímulos para utilização de energia fotovoltaica vêm contribuindo para a redução destes custos, principalmente sobre o preço dos painéis solares, que deixam essa energia pouco acessível. Além disso, o aumento no número de pessoas adquirindo esta tecnologia, gera um alívio nos reservatórios hídricos, possibilitando o direcionamento deste recurso para outros usos, como agricultura, processos industriais e suprimento humano. E como bônus, ainda reduz o acionamento de termelétricas fósseis, mais poluentes e caras, impedindo mais impactos no aquecimento global e aumentos para o consumidor final.

Segundo Miranda (2014), as condições são bastante favoráveis para geração de energia solar no Brasil, não apenas por sua localização privilegiada intertropical, mas também por uma grande disponibilidade de recursos naturais e territoriais, além de características próprias do seu sistema elétrico.

Muitos estudos mostram que a instalação de painéis fotovoltaicos é financeiramente viável mesmo em tempos de normalização das taxas de energia, ou se considerando geração de economia a longo prazo, já que é sabido que a energia solar é mais barata por não precisar ser extraída, refinada e nem transportada, como é feito com o sistema convencional (BRAGA, 2008). Adicionalmente, esta energia possui um processo mais simples com mínima manutenção, sem emissão de gases poluentes, ruídos ou impactos ambientais. Mesmo em um momento de crise econômica, onde a alta do dólar faz com que os custos de instalação fiquem mais elevados, ainda assim, a economia a longo prazo torna a energia solar viável.



O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade financeira da instalação e manutenção de um sistema de captação de energia solar para uma casa média, em Brasília, comparando com os possíveis rendimentos de uma aplicação financeira de longo prazo.

O Brasil vive hoje uma grande crise financeira oriunda de diversas causas, como a pandemia de covid-19, alta do dólar, aumento do desemprego, entre outros, e somado a estes graves problemas, outro tão grande quanto tem dificultado a retomada da atividade econômica do país: a crise no setor hídrico, que reflete desde a disponibilidade de água nos reservatórios bem como na geração de energia elétrica. Em média, a conta de luz corresponde a 4,5% do orçamento dos brasileiros. Mas pode comprometer até 10% da renda de famílias que ganham até dois salários mínimos (G1, 2021).

Como a utilização de outras fontes de geração de energia elétrica, mais especificamente a utilização de energia fotovoltaica em unidades residenciais e comerciais ainda não está difundida, em parte pela resistência às mudanças nos meios tradicionais de geração para alternativos e sustentáveis, é interessante levantar uma comparação entre uma aplicação financeira e o *payback* deste sistema. Por mais que a geração de energia fotovoltaica tenha mais vantagens que um simples *payback* positivo, como auxiliar no desafogamento das usinas hidrelétricas (responsáveis pela geração de mais de 75% da eletricidade do país), este estudo se atentará para comparação da vantagem financeira somente, ainda que em alguns momentos devam ser citados outros benefícios do sistema para fins de esclarecimento.


Este trabalho tem como objetivo detalhar o sistema de produção de energia fotovoltaica, mostrando sua viabilidade econômica em comparação a uma aplicação financeira. Para isso será feito o estudo de todos os componentes básicos necessários na aplicação de um projeto residencial ligado a rede, bem como seus custos de manutenção.

Vale destacar que serão demonstrados os benefícios de baixos impactos ambientais de seu uso apenas para conhecimento do leitor. Como objetivo final desse trabalho, será apresentado o custo-benefício da implementação de placas fotovoltaicas, trazendo seu *payback* e retornos de um investimento financeiro simples com o propósito de auxiliar famílias que estão buscando saídas para otimizar seu dinheiro.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Consumo e fornecimento de energia elétrica no Brasil

De acordo com dados da AIE-Agência Internacional de Energia, o consumo energético do Brasil está entre os 10 maiores, apresentando um aumento de 38% nos últimos 10 anos,



ficando um pouco acima da média de 30% do resto do mundo. Ainda que o Brasil seja um dos maiores produtores de energia oriunda de fontes renováveis, o segundo maior produtor mundial para ser mais exato, o aumento crescente do consumo de energia se tornou uma grande preocupação mundial (CEMIRIM, 2020).

Com o que já se sabe hoje, é possível afirmar que o sistema de fornecimento de energia elétrica do Brasil está ameaçado, com a seca que atinge o Brasil há vários meses, uma vez que o abastecimento de eletricidade do país depende, em sua maioria, de hidrelétricas. Esse problema aumenta o custo da energia e põe em risco a produção agrícola e a recuperação da economia. Diante disso, o Brasil tem buscado caminhos alternativos de geração de energia elétrica: energia como a solar, eólica e da biomassa já estão sendo colocadas em prática, deixando o Brasil num grupo seleto de países que estão inaugurando uma nova era de produção de energia renovável e sustentável.


### **Energia fotovoltaica: Conceito e origem**

A Energia solar é uma energia alternativa, limpa, sustentável e renovável, por isso é uma das fontes mais promissoras para obtenção energética na atualidade. É possível produzi-la a partir do calor (energia térmica) e da luz do sol (energia fotovoltaica), ou seja, quanto maior a radiação solar nas placas solares, maior será a quantidade de energia elétrica produzida. Além disso, é possível captá-la de diversos modos, como painéis fotovoltaicos, usinas heliotérmicas e aquecedores solares.

É importante escrever sobre essa invenção e seu criador pois tem contribuído significativamente com a geração de uma energia limpa e renovável em todo o mundo.

A origem da energia solar deu-se em 1839, após estudos do físico francês Alexandre Edmond Becquerel, que descobriu o efeito fotovoltaico. Posteriormente, em 1883, Charles Fritts criou a primeira célula de selênio funcional, que permitiu gerar uma corrente contínua e constante para a conversão elétrica máxima de 1%, hoje em dia, contamos com mais de 20% de eficiência. No ano seguinte, ele instalou em um telhado da cidade de Nova York o primeiro painel solar do mundo, utilizando células de selênio (PORTALSOLAR, 2016).

O famoso cientista Albert Einstein também teve participação no desenvolvimento desta tecnologia e chegou a receber um prêmio Nobel por seu trabalho. Apesar de terem lhe dado o crédito pela descoberta do efeito fotoelétrico, em 1905, por sua explicação teórica para o efeito fotoelétrico, onde seus experimentos apontaram que a emissão de elétrons de uma superfície em interação com uma onda eletromagnética, formava o efeito fotoelétrico, de fato a descoberta



foi feita pelo físico alemão Heinrich Hertz em 1887, que na ocasião percebeu que a incidência da luz ultravioleta em chapas metálicas auxiliava a produção de faíscas. E a teoria, foi instituída por Schottky, que após alguns anos, criou a primeira célula fotovoltaica de mono silício prática. Devido a sua teoria, painéis solares puderam ser utilizados no espaço em 1958 (PORTALSOLAR, 2016).

Já a utilização dos painéis solares em larga escala ocorreu em 1958. Para alimentar o rádio do satélite Vanguard I na viagem ao espaço: um painel de 1 W de potência foi anexado à estrutura do satélite. A partir daí, os primeiros sistemas fotovoltaicos foram implementados em residências, estabelecimentos e até mesmo em meios de transporte, como aviões, navios e ônibus.

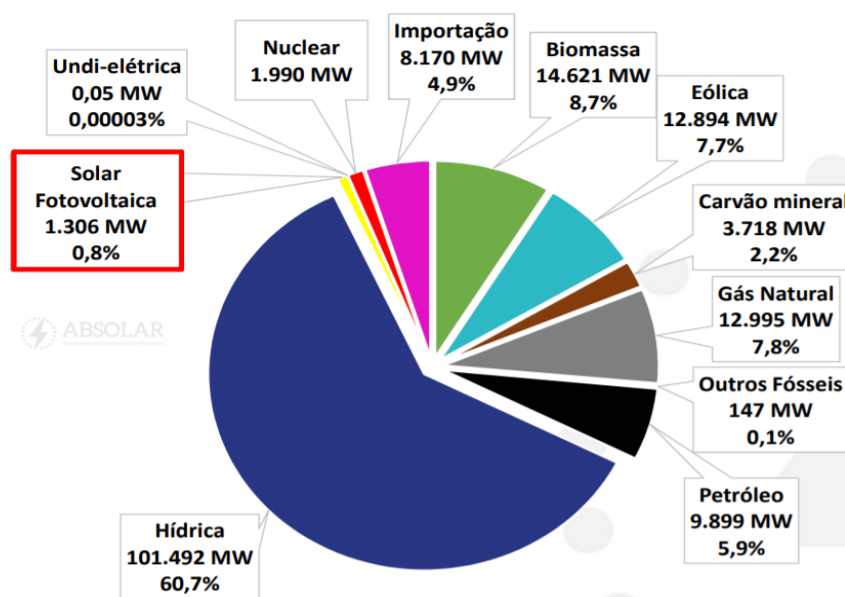
Desde então esta tecnologia foi bastante desenvolvida, bem como difundida em outros meios, além da diminuição dos custos a partir do aumento da demanda. Em 2011, as fábricas solares chinesas se expandiram de forma rápida, tornando os custos de fabricação mais acessíveis, com menos de US\$1.25 por watt a cada módulo fotovoltaico de silício produzido. Dessa forma, as instalações cresceram no mundo todo. No ano 2000, foram constituídos sistemas fotovoltaicos conectados à rede (on-grid) na maioria dos países de Primeiro Mundo, a fim de suprir energia à rede elétrica convencional. A partir de sua implementação, a produção anual mundial subiu para 4.200 MWp de células fotovoltaicas. (ARACI, 2021)

### **Capacidade de geração de energia fotovoltaica do Brasil, com foco em Brasília-DF**

O Brasil é um país que tem sua matriz energética predominantemente renovável, que inclusive ultrapassa muitos países de primeiro mundo na produção de energia limpa (França, Alemanha e Espanha por exemplo), e apesar de possuir níveis altos de irradiação solar, superiores aos de países que aproveitam em larga escala a energia solar, por aqui esse tipo de energia representa menos de 1% do total de energia gerada.

O Mercado Fotovoltaico no mundo em 2017 mostrou que o Brasil ingressou no ranking mundial de potência instalada de energia solar adicionada, ficando na décima posição. Apesar de não aparecer no ranking mundial de energia solar instalada total de 2017, tem como característica ter uma das matrizes elétricas mais renováveis do mundo, pois grande parte de sua energia elétrica gerada é proveniente de usinas hidrelétricas.

**Figura 1:** Matriz energética brasileira em potência instalada.  
**Matriz Elétrica Brasileira: Potência Instalada em Operação (MW)**



Fonte: ANEL/ABSOLAR, 2018. Última atualização 04/06/2018.

Em se tratando de energia solar, do total de potência instalada em operação, quase 80% vem de residências (ABSOLAR, 2018)

Apesar do Nordeste estar entre as regiões mais irradiadas, um estudo da WWF Brasil, feito em 2016 sobre o potencial da energia solar fotovoltaica de Brasília, mostrou que a capital federal tem grande potencial para ser a impulsionadora da energia solar no país. Isso se deve ao fato de Brasília estar no coração do Brasil, possuindo um período seco que dura quase seis meses no ano, e assim beneficiada quanto aos índices de irradiação solar, podendo ser comparada ao Nordeste (AGÊNCIA BRASÍLIA, 2019).

Quando se fala em Brasília, é necessário comentar que o fornecimento de eletricidade para o Distrito Federal vem sendo muito discutido desde que a privatização da subsidiária de distribuição da Companhia Energética de Brasília (CEB) recebeu autorização para ocorrer. Contudo, um assunto mais urgente e mais antigo, relacionado diretamente com o tema, é a necessidade de incentivos na geração de energia por outros meios renováveis. Pesquisas apontam o Distrito Federal como um lugar ideal para isso, com condições climáticas e geográficas propícias por exemplo para a matriz fotovoltaica solar, por mais que a produção ainda seja bem baixa.

Um levantamento da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2021), divulgado em dezembro, mostra que a distribuição de energia solar no Distrito Federal representa apenas 0,8% do total gerado no país. O resultado coloca a unidade federativa em 20º

lugar no ranking nacional e revela a dependência do modelo hidráulico, responsável por 64,9% da eletricidade produzida no Brasil. Do total que chega ao DF por esse formato, 80% tem origem em Furnas — em Minas Gerais —, e 20%, em Itaipu — entre o estado do Paraná e o Paraguai.

Por isso, para economizar na conta de luz e poupar o meio ambiente, muitos brasileiros têm buscado fontes alternativas de geração de eletricidade, seja em casa, seja nos próprios negócios.

## **CUSTO DE UTILIZAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS RESIDENCIAIS**

### **Custos de instalação e manutenção**

Uma série de fatores podem influenciar no custo final de instalação de placas fotovoltaicas. É necessário levar em consideração principalmente o tamanho e a complexidade da instalação, bem como sua necessidade fim. Porém, por mais que o sistema possa ser grandioso, sua manutenção não costuma variar muito, e é considerada bem barata.

### **Equipamento necessário para montagem**

Para fazer a escolha do tipo de instalação e do equipamento fotovoltaico, é necessário conhecer a necessidade do usuário, pois existem dois tipos principais de kits desse sistema, sendo a principal diferença que um está ligado à rede elétrica (*on-grid*) e o outro é independente (*off grid*).

Os kits de energia solar *on-grid* geram energia durante o dia e em outros períodos, recebendo a energia gerada da distribuidora, ou seja, os sistemas *on-grid* não utilizam armazenamento de energia, já que em momentos em que não há geração, utiliza-se da rede da concessionária. Já o kit de energia solar fotovoltaica *off-grid* gera energia sem que o sistema seja conectado à rede elétrica, garantindo o armazenamento de energia solar por meio de baterias solares para momentos em que não há produção. (PORTALSOLAR, 2021)

Apesar do intuito deste trabalho ser apresentar um sistema com o fim de “libertar” o usuário da dependência da conta de energia elétrica, o sistema interligado a rede é bem mais barato e viável ao usuário comum que vive em cidades. Por isso, este estudo levará em consideração o sistema *on-grid* nos cálculos, apresentando uma estimativa de *payback* em comparação com uma aplicação financeira para saber qual é mais vantajoso financeiramente, um sistema de placas solares gerando energia em boa parte do ano, e assim diminuindo ou anulando os gastos com a conta de energia elétrica, ou uma aplicação financeira.



## Custos de manutenção

No geral, o custo de manutenção do painel fotovoltaico é bem baixo, aproximadamente 0,5% ao ano do valor inicial do sistema quando se fala em instalações menos complexas em residências ou prédios. Essa é uma das vantagens de produzir a sua energia de forma limpa e renovável.

Claro que este cenário diz respeito a uma instalação bem feita e com um bom estudo de engenharia, diminuindo ou eliminando problemas com fundação, velocidade do vento, fixação etc.

Um ponto importante com relação a limpeza, fator imprescindível, visto que a sujeira afeta o funcionamento das placas, é que a própria chuva tem papel fundamental, já que não é recomendado que o usuário tente realizar a limpeza das placas por conta própria, visto que quase sempre estão instaladas em locais de difícil acesso, como telhados ou lajes, necessitando assim que se chame um profissional capacitado, o que eleva o tempo de *payback* do sistema. Contudo, se estiver em um local de fácil acesso, o usuário poderá realizar a limpeza de forma muito fácil, com o auxílio de água, panos macios secos ou úmidos e esponjas. Porém, não devem ser utilizados solventes corrosivos e nem objetos rígidos.

Além disso, não é permitido o uso de ferramentas de metal, como lâminas, facas, lâ de aço e outros materiais abrasivos para realizar a limpeza porque podem diminuir o tempo de vida das placas.

Outros produtos que não são recomendados são água com alto teor de minerais ou soluções corrosivas de limpeza que contenham ácido hidrófluorídrico e substâncias alcalinas, acetona ou álcool industrial.

Caso um painel seja danificado, devido ao uso de um produto de limpeza não podem danificar ou até remover por completo a camada de tratamento anti-reflexivo do vidro, causando também manchas no mesmo. O resultado disso tudo é a perda de geração de energia e também da garantia do produto.

## COMPARAÇÃO DE PAYBACK COM INVESTIMENTO EM APLICAÇÃO FINANCEIRA

### Gasto energético de uma família de 5 pessoas

Uma das principais dúvidas do possível adquirente das placas, é se a economia durante os trinta anos (aproximadamente) de vida útil do sistema, será suficientemente vantajosa financeiramente.

Imaginando um cenário fictício de uma residência em Brasília com cinco moradores, utensílios domésticos básicos, e o uso moderado destes no mês, e com auxílio de dados informados no site da NeoEnergia (concessionária que administra a distribuição de energia na região), tais como, potência de utensílios, valor de um Kw/h (de acordo com o horário do dia), foi esquematizado em uma tabela Excel o valor médio que essa família gastará ao final de um mês com a conta de energia elétrica.


Esses valores serão importantes para o cálculo e dimensionamento de placas fotovoltaicas orçado no PORTALSOLAR. Abaixo, a Tabela 1 esquematizando a situação fictícia:

**Tabela 1:** Simulação de gasto de uma família com 5 pessoas.

Utensilio	Quant.	Potência (W)	Potência (kW)	Min./Dia	Hora/Dia	Dias/Mês	Total kW/h/mês	Horário fora de pico	Horário int. de pico	Horário de pico
Aspirador de Pó	1	1000	1	20	0,33	15	5	R\$ 4,41	R\$ 5,53	R\$ 7,84
Batedeira de Bolo	1	700	0,7	5	0,08	5	0	R\$ 0,26	R\$ 0,32	R\$ 0,46
Cafeteira Elétrica	1	550	0,55	5	0,08	31	1	R\$ 1,25	R\$ 1,57	R\$ 2,23
Chuveiro Elétrico	2	6000	6	50	0,83	31	310	R\$ 273,70	R\$ 343,17	R\$ 486,33
Espremedor de Frutas	1	250	0,25	10	0,17	15	1	R\$ 0,55	R\$ 0,69	R\$ 0,98
Ferro de passar elétrico (roupa)	1	1200	1,2	60	1,00	4	5	R\$ 4,24	R\$ 5,31	R\$ 7,53
Fogão Comum com Acendedor	1	90	0,09	5	0,08	31	0	R\$ 0,21	R\$ 0,26	R\$ 0,36
Forno microondas	1	1300	1,3	10	0,17	31	7	R\$ 5,93	R\$ 7,44	R\$ 10,54
Geladeira Duplex 430 L	1	250	0,25	1440	24,00	31	186	R\$ 164,22	R\$ 205,90	R\$ 291,80
Lâmpadas Led 9 W	15	9	0,009	720	12,00	31	50	R\$ 44,34	R\$ 55,59	R\$ 78,78
Liquidificador	1	1000	1	5	0,08	31	3	R\$ 2,28	R\$ 2,86	R\$ 4,05
Máquina de Lavar Roupas	1	580	0,58	240	4,00	5	12	R\$ 10,24	R\$ 12,84	R\$ 18,20
Micro Computador	2	100	0,1	360	6,00	31	37	R\$ 32,84	R\$ 41,18	R\$ 58,36
Televisor de 40 Polegadas	3	200	0,2	180	3,00	31	56	R\$ 49,27	R\$ 61,77	R\$ 87,54
Sanducheira Elétrica	1	800	0,8	15	0,25	15	3	R\$ 2,65	R\$ 3,32	R\$ 4,71
Ventilador	3	100	0,1	120	2,00	15	9	R\$ 7,95	R\$ 9,96	R\$ 14,12
<b>Total</b>	<b>36</b>	<b>14129</b>		<b>3245</b>		<b>353</b>	<b>684,49</b>	<b>R\$ 604,34</b>	<b>R\$ 757,72</b>	<b>R\$ 1.073,83</b>
								<b>Média:</b>		<b>R\$ 811,96</b>

Fonte: Portalsolar, 2022.

Para o cálculo do valor em destaque amarelo (R\$ 811,96), foram multiplicados os seguintes valores:



Quant. de aparelhos x Potência (Kw/h) x horas usadas por dia x Tarifa média para então se chegar a um gasto médio no período de um mês. Saliento que o presente trabalho criou um cenário fictício, com valores médios, não considerando impostos, taxas extras e outros acréscimos que possam aparecer na fatura.

## **Payback**

*PayBack* simples é um indicador financeiro que revela o tempo necessário para recuperar o custo de um investimento. Ou seja: equivale ao prazo de retorno do investimento, ou quanto tempo ele leva para “se pagar”, na linguagem popular. (CAPITALNOW, 2020)

O método escolhido para se calcular o *payback* nesta situação, foi considerando apenas o gasto em kW/h no mês com energia elétrica na residência, ou seja, o valor exato de gasto. A energia gerada a mais pelo sistema de energia fotovoltaica, que é injetada na rede da distribuidora, será "emprestada" para a distribuidora criando assim um "crédito" de energia para o usuário com uma validade de 60 meses. Como o cálculo desse crédito é imprevisível, ele será desconsiderado para facilitar a dinâmica do trabalho.

Outra forma de calcular seria considerando a quantidade total gerada pelo sistema ao mês, no decorrer dos anos, multiplicando cada Kw/h pela tarifa praticada pela concessionária, e assim chegando ao valor próximo do rendimento financeiro das placas.

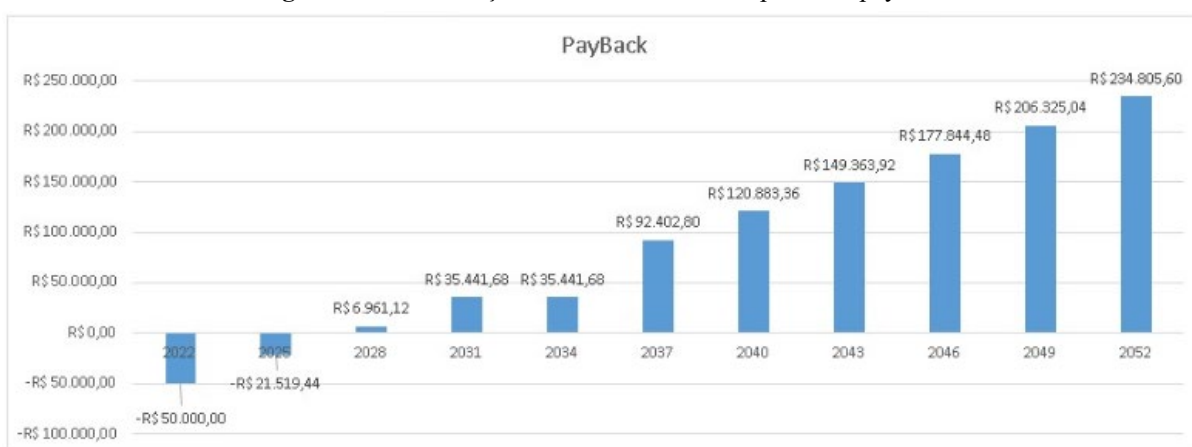
Para ilustrar melhor, foram elaborados dois gráficos: Figura 3 contendo o gasto com energia elétrica ao longo de trinta anos, e Figura 4 com o *payback* do valor investido com as placas fotovoltaicas, mais 0,5% de manutenções a.a. A ideia é apresentar o gasto inicial “sendo pago” com a economia em contas de energia. E assim, conforme a economia com contas de energia são alcançadas ao longo do tempo, mais precisamente ao final de trinta anos, tempo de vida útil aproximado das placas, teremos o montante economizado menos o valor do investimento.

**Figura 2:** Gasto com conta de energia elétrica ao longo dos anos.



Fonte: Autoria própria, 2022.

**Figura 3:** Demonstração do investimento com prazo do payback.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Na Figura 2, fica demonstrado que o gasto aproximado com energia elétrica, no decorrer de trinta anos, será de R\$ 292.305,60 reais. Enquanto na Figura 3, pode-se inferir que o valor investido, “se pagará” entre cinco e seis anos e ao final do período, o valor economizado será de R\$ 234.805,60 reais. Vale esclarecer que os anos foram dispostos de três em três para melhor visualização e posicionamento das tabelas, iniciando em 2022 e chegando a 2052.

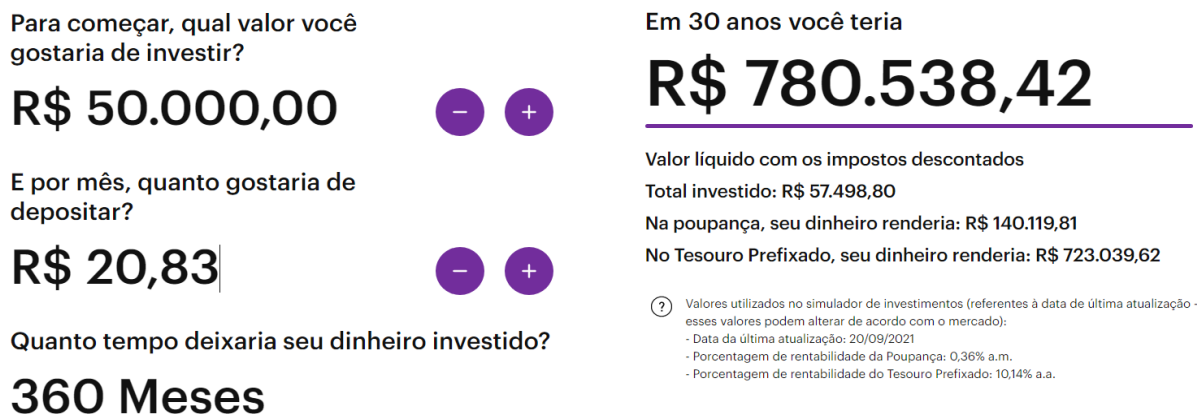
### Investimento em aplicação financeira

Buscando relacionar o gasto com o sistema, bem como sua manutenção ao longo de trinta anos (360 meses), com uma aplicação financeira, uma busca realizada no site NUinvest, plataforma de investimentos do Nubank, utilizou a ferramenta de simulação de investimentos, onde o valor que se gastaria com o sistema de placas fotovoltaicas (R\$ 50.000,00 reais) foi usado como depósito inicial, e o valor de 0,5% ao ano (a.a.), referente à manutenção, foi considerado para depósitos mensais. Como essa porcentagem de 0,5% de R\$ 50.000,00 reais a.a. equivale à R\$ 250,00 reais a.a., basta dividir esse valor pelo número de meses que tem um

ano, para saber quanto será o depósito mensal na aplicação financeira, dessa forma, conforme indica a Figura 4.

- $R\$ 50.000,00 * 0,5\% = R\$ 250,00$
- $R\$ 250,00/12 = R\$ 20,83$

**Figura 4:** investimento no valor do capital das placas voltaicas.



**Fonte:** NUinvest. Simulador de investimentos, 2021.

A pesquisa considerou como investimento inicial o que seria gasto com o sistema de placas solares em primeiro plano, e ainda utilizou o que se gastaria com manutenções para depósitos mensais da aplicação. Ademais, o investimento se deu no Tesouro Prefixado, a um rendimento de 10,14% a.a., por um intervalo de 360 meses ou 30 anos, de acordo com os dados do site. Ficando demonstrado que o dinheiro investido, renderia um montante de aproximadamente R\$ 723.039,62 reais.

## Comparação

À primeira vista, fica evidente a diferença em relação a vantagem financeira. Mesmo se considerarmos que a pessoa que decidir investir seu dinheiro ainda seguirá pagando sua conta de energia.

Uma ilustração com dois personagens, A e B, será usada para ilustrar a comparação.

### Personagem A:

Optou por adquirir placas fotovoltaicas. Seu gasto que era em média de R\$ 811,96 ao mês, cerca de 684,49Kw, zerou. Contudo, seu investimento foi de R\$ 50.000,00 reais, com um sistema de potência instalada de 8,84 kWp, que suprirá sua necessidade e talvez lhe trará créditos com a concessionária de energia. Além disso há um gasto anual de 0,5% sobre este valor para manutenções do sistema (R\$ 250,00).

Por volta do sexto ano, o investimento inicial será pago (*payback*). O somatório dos anos seguintes, até que se acabe o tempo de vida útil do sistema (aproximadamente), gerará um montante aproximado de R\$ 234.805,60 reais de economia.

### **Personagem B:**

Optou por investir em aplicação financeira, especificamente Tesouro Prefixado, com rentabilidade de 10,04% a.a. Utilizando o que gastaria na manutenção de um sistema solar como depósito mensal e o valor do custo do painel completo, como aplicação inicial.

Como optou por investir, continuou pagando a conta de energia normalmente, um montante de R\$ 292.305,60 reais ao final dos trinta anos.

Seu investimento lhe retornou um montante de R\$ 723.039,62 reais ao final do mesmo período. Considerando que o personagem B seguiu pagando a fatura de energia, pode-se concluir um rendimento líquido de R\$ 430.734,02 se descontarmos as faturas.

Assim sendo, enquanto o personagem A economizou R\$ 234.805,60 reais, o personagem B, já descontando os gastos com energia elétrica, conseguiu um rendimento líquido de R\$ 430.734,02, quase o dobro do primeiro no mesmo período.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O objetivo geral desse trabalho foi demonstrar a viabilidade econômica da energia fotovoltaica para o consumidor final. Sua importância para o futuro, bem como seus diversos benefícios também foram expostos, e chegou-se à conclusão que ela é muito válida para aquele que busca conservar o meio ambiente e não estar à mercê de sucessivos aumentos na fatura energética.

Apesar disso, se o objetivo for exclusivamente financeiro, e tem-se um cidadão preocupado em economizar seu dinheiro, cogitando utilizar placas fotovoltaicas com o fim de eliminar a conta de energia elétrica, a dica é, que invista seu dinheiro em aplicação financeira. Os retornos serão provavelmente maiores.

Os dados usados para comparar são fictícios, e alguns valores foram suprimidos pra facilitar a explicação. Além disso, grande parte dos dados considerados são de grande variabilidade, como é o caso do consumo de energia elétrica de uma família ou rentabilidade em aplicações financeiras. Por isso, pode-se dizer que em um cenário real, a diferença entre as vantagens de ambos poderia ser maior ou menor facilmente.

A comparação realizada atendeu às expectativas, gerando resultados satisfatórios e permitindo ao leitor a visualização concreta da ideia central, podendo agora decidir de forma consciente onde empregará seu dinheiro, se esse for seu caso.

## REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **A economia que vem do Sol: matriz energética tem potencial para avanços no DF.** Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/a-economia-que-vem-do-sol-matriz-energetica-tem-potencial-para-avancos-no-df/>. Acesso em 12 de nov. de 2021.

AGÊNCIA BRASÍLIA. **Energia limpa: DF quer suprir demandas futuras sem comprometer recursos naturais.** Disponível em: <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2019/08/19/energia-limpa-df-quer-suprir-demandas-futuras-sem-comprometer-recursos-naturais/>. Acesso em 18, jul. de 2021.

ARACI. **História e origem da Energia Solar.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/historia-origem-da-energia-solar.html>. Acesso em 9 de nov. de 2021.

BRASIL. **Brasil é referência no campo de energia limpa e renovável.** Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/10/brasil-e-referencia-no-campo-da-energia-limpa-e-renovavel/entrevista.png/view>. Acesso em 9 de nov. de 2021.

CAPITALNOW. **PayBack simples: o que é e como calcular.** Disponível em: <https://www.capitalresearch.com.br/blog/investimentos/payback-simples/>. Acesso em 15 de nov. de 2021.

CEMIRIM. **Brasil é o 10º país que mais consome energia.** Disponível em: <https://cemirim.com.br/brasil-e-o-10o-pais-que-mais-consome-energia/>. Acesso em 5 de nov. de 2021

CMS.SANTANDER. **Geração Centralizada Solar Fotovoltaica.** Disponível em: [https://cms.santander.com.br/sites/WPS/documentos/arq-sustentabilidade-futuros-energias-apresentacoes-lista-1-cont/18-11-08\\_163510\\_geracao-centralizada-rodrigo-lobes.pdf](https://cms.santander.com.br/sites/WPS/documentos/arq-sustentabilidade-futuros-energias-apresentacoes-lista-1-cont/18-11-08_163510_geracao-centralizada-rodrigo-lobes.pdf). Acesso em 9 de nov. de 2021.

CORREIOBRAZILIENSE. **Aneel mantém bandeira vermelha 2 na conta de luz de famílias de baixa renda.** <https://www.correio braziliense.com.br/economia/2021/09/4951601-aneel-mantem-bandeira-vermelha-2-na-conta-de-luz-de-familias-de-baixa-renda.html>. Acesso em 5, nov. de 2021.

EPE.GOV.BR. **Plano Nacional de Energia 2030. Ministério de Minas e Energia. Brasil. EPE.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Outras%20Fontes.pdf>. Acesso em 13 de nov. de 2021.

EPE. **Plano Nacional de Energia 2020. Empresa de Pesquisa Energética EPE.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>. Acesso em 18 de jul. de 2021.

EPE. **Plano Nacional de Energia 2030. Ministério de Minas e Energia. Brasil. EPE.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Outras%20Fontes.pdf>. Acesso em 18 de jul. de 2021.  
FILHO, Wilson. AZEVEDO, Abílio. **Geração Distribuída: Vantagens e Desvantagens.** Brasil. FILHO, 2013.

GOV.BR. **Como analisar gastos com a energia elétrica.** Disponível em: [https://www.gov.br/compras/pt-br/sistemas/arquivos-doc-e-pdf/cartilha\\_energia.pdf](https://www.gov.br/compras/pt-br/sistemas/arquivos-doc-e-pdf/cartilha_energia.pdf). Acesso em 4, nov. de 2021.

ISTOÉ. **Famílias de baixa renda podem sofrer corte de luz a partir desta sexta-feira.** Disponível em: <https://www.istoedinheiro.com.br/familias-de-baixa-renda-podem-sofrer-corte-de-luz-a-partir-desta-sexta-1/>. Acesso em 5, nov. de 2021.

MIRANDA, Arthur. **Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico Ligado à Rede.** Brasil. MIRANDA, 2014.

PODER360. **Brasil passa pela maior crise hídrica desde 1931, diz Bento Albuquerque.** Disponível em: <https://www.poder360.com.br/governo/brasil-passa-pela-maior-crise-hidrica-desde-1931-diz-bento-albuquerque/>. Acesso em 18, jul. de 2021.

PORTALSOLAR. **História e origem da Energia Solar.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/historia-origem-da-energia-solar.html>. Acesso em 6 de nov. de 2021.

PORTALSOLAR. **A Energia Solar no Mundo.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-mundo>. Acesso em 9 de nov. de 2021.

PORTALSOLAR. **Vantagens e Desvantagens da Energia Solar Fotovoltaica.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar.html>. Acesso em 14 de nov. de 2021.

PORTAL SOLAR. **Kit de energia solar fotovoltaica: tudo o que você precisa saber.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/kit-de-energia-solar-tudo-o-que-voce-precisa-saber.html>. Acesso em 8 de nov. de 2021.

REPOSITÓRIO UFRJ. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações** Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001103.pdf>. Acesso em 18 de jul. de 2021.

SOLSTAR. **Energia solar no Brasil: Mercado Que Mais Cresce no País.** Disponível em: <https://solstar.com.br/2021/06/01/energia-solar-no-brasil-mercado-que-mais-cresce-no-pais/>. Acesso em 9 de nov. de 2021.



# CAPÍTULO 11

## ESTUDO COMPARATIVO DE APLICAÇÃO DE FORMAS PARA LAJES MACIÇA SISTEMA MODULAR X SISTEMA CONVENCIONAL COM TORRES

**Roberto Pereira Camargos Júnior  
Felipe Da Cruz Dias**

### RESUMO

As fôrmas são de grande importância para construção civil, pois desempenham funções de moldagem das estruturas de concreto e são responsáveis por resistirem aos esforços do concreto fresco como peso próprio e sobrecargas acidentais, antes que o mesmo se torne autoportante. Este artigo acadêmico tem como objetivo apresentar a análise comparativa da aplicação dos sistemas de formas e escoramentos metálicos para estruturas de concreto armado em especial laje maciça, bem como critérios técnicos para execução dos SISTEMA MODULAR e SISTEMA DE MONTAGEM CONVENCIONAL COM TORRES. Serão apresentados procedimentos de execução, especificidades, finalidades e particularidades de cada um dos sistemas de fôrma selecionados, bem como um comparativo dos sistemas citados e depoimentos de profissionais que atuam com os referidos métodos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resumo. Artigo. Norma ABNT.

### INTRODUÇÃO

A importância das fôrmas para concreto armado na execução e nos custos da estrutura justifica um estudo detalhado de sua execução e a melhor escolha do método construtivo. Segundo Nazar (2007), nos edifícios habitacionais e comerciais com múltiplos andares, o custo das fôrmas pode variar de 25% até 30% do total da obra e o prazo da sua execução não raras vezes atinge entre 50% e 60%, o que por si só aponta para a cautela e para as repercussões que tais eventos podem acarretar o preço de venda do produto a ser comercializado.

É necessário um estudo mais completo para pesquisar as vantagens de utilização do sistema, visto que atualmente o processo convencional de produção de fôrmas é expressivamente utilizado, muitas vezes devido à falta de conhecimento dos construtores, que levam em conta somente o custo do produto e não de sua produção global no empreendimento. O intuito deste trabalho acadêmico é apresentar dois diferentes métodos construtivos para lajes maciças: o sistema modular e o sistema convencional com torres. A comparação entre os métodos apresenta as vantagens e desvantagens de cada método, considerando situações reais de uso, a produtividade e a qualidade do produto final.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo o Manual SH de Fôrmas para Concreto e Escoramentos Metálicos (2008), laje é o sistema estrutural que está diretamente apoiada sobre os pilares, sem a existência de elementos estruturais de suporte da laje (vigas) ou de distribuição de carga aos pilares (capitéis). Para moldar essas lajes, é necessário criar um tablado horizontal, que sirva de fôrma, normalmente executado com compensados de madeira sobre estrutura vertical, conhecida por cimbramento, que poderá ser de madeira ou metálico.

Escoramentos são “estruturas provisórias com capacidade de resistir e transmitir às bases de apoio da estrutura todas as ações provenientes das cargas permanentes e variáveis resultantes do lançamento do concreto fresco sobre as fôrmas horizontais e verticais, até que o concreto se torne autoportante”. (ABNT, 2009)

As fôrmas são “estruturas provisórias utilizadas para moldar o concreto fresco, resistindo a todas as ações provenientes das cargas variáveis resultantes das pressões do lançamento do concreto fresco até que o concreto se torne autoportante”. (ABNT, 2009). As fôrmas geralmente são de madeira, metálica ou mista (madeira x metálica). As fôrmas de madeira são de grande uso na construção civil, principalmente em obras de pequeno porte. As razões do uso desse sistema são a fácil adaptação da fôrma a qualquer tipo de estrutura e a relativa facilidade em sua fabricação. Entretanto, apresentam diversas desvantagens como: pouca durabilidade, baixa produtividade na montagem e desmontagem, execução demorada, pouca resistência nas ligações e emendas e grandes deformações quando submetidas a variadas e bruscas mudanças de temperatura e umidade.

Cimbramento “É uma solução mista, ou seja, com a presença de peças de diferentes materiais, indicada para lajes que possuam muitos recortes. O sistema é composto por perfis que podem ser utilizados como vigas secundárias ou primárias, posicionando sobre torres de carga e escoramentos. Os perfis podem ser metálicos, alumínio ou em vigas de madeira SH20, de alturas e resistências variáveis. Cada material possui suas propriedades mecânicas, e por isso é recomendado um estudo detalhado para a escolha da melhor solução, a fim de evitar possíveis transtornos futuros” (DANTAS, 2018).

De acordo com Assahi (2005), pode-se concluir que o sistema de fôrma é o conjunto completo dos elementos que a compõem incluindo a própria fôrma, elementos de cimbramento, escoramento remanescente, equipamentos de transporte e manutenção.

## Madeira serrada

Madeira serrada é aquela que resulta diretamente do desdobro de toras ou toretes, constituída de peças cortadas longitudinalmente por meio de serra, independentemente de suas dimensões, de seção retangular ou quadrada. (CONAMA, 2009). A Tabela 1 apresenta a classificação da madeira serrada de acordo com a Resolução nº 411 de 06 de maio de 2009:

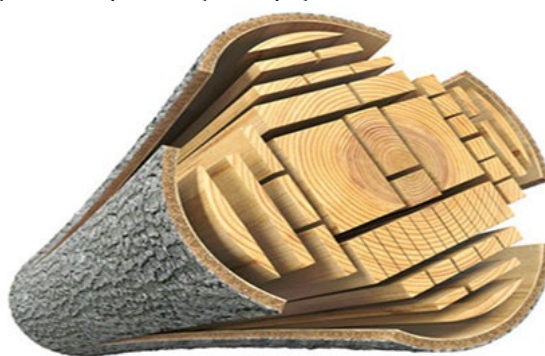
**Tabela 1:** Classificação da madeira serrada.

DESCRIÇÃO	ESPESSURA(CM)	LARGURA (CM)
Bloco, quadro ou pontalete	> 12	> 12
Pranchões	> 7	> 20
Prancha	4,0 – 7,0	> 20
Viga	> 4	11,0 – 20,0
Vigota	4,0 – 8,0	8,0 – 11,0
Caibro	4,0 – 8,0	5,0 – 8,0
Tábua	1,0 – 4,0	> 10
Sarrafo	2,0 – 4,0	2,0 – 10,0
Ripa	> 2	> 10

Fonte: CONAMA, 2009.

A madeira é muito utilizada na execução dos arremates para lajes, bem como nos sistemas de pilares e vigamento. As peças de madeira serrada no formato de pontaletes, sarrafos e tábuas não devem possuir defeitos em suas dimensões, formato, arqueamento, rachaduras, podridão, fendas, além dos limites de tolerância para cada classe, que são divididas em primeira qualidade industrial, segunda qualidade industrial e de terceira qualidade industrial. (YAZIGI, 2013).

**Figura 1:** Representação de peças de madeira serrada.



Fonte: Remade, s.d.

Como explica Nazar (2007), as madeiras em forma de compensado apresentam uma distribuição das lâminas que a compõem, no sentido vertical e horizontal, o que ocasiona uma distribuição das tensões quando o material é solicitado. As chapas de madeira compensado são fabricadas pela união de três ou mais lâminas, alternando-se as direções das fibras em ângulos

retos, sob pressão, com auxílio de um adesivo, quase sempre em painéis com número ímpar de lâminas. O posicionamento cruzado das lâminas proporciona ao painel de compensado uma excelente resistência mecânica, tornando-o à prova de movimentações de contração e expansão.

Os madeirites são vendidos em chapas de 110,0 cm X 220,0 cm nas espessuras de 6,0 mm, 10,0 mm, 12,0 mm, 14,0 mm, 18,0 mm e 20,0 mm. (PEREIRA, 2019). Os mais utilizados são:

- Madeirite resinado formado por chapas finas de madeira compensada unidas por cola. Essa cola pode ser branca, que apresenta baixa resistência à umidade e menor número de reutilização das fôrmas. (PEREIRA, 2019).
- Madeirite plastificado também formado por placas finas de compensado, mas unido por cola fenólica. Externamente, ao invés de receber pintura rosada (resina), é protegido por uma película (*tergofilme*) que confere uma superfície lisa e pouquíssimo permeável. (PEREIRA, 2019).

### Sistema modular

O sistema modular da fabricante Mills, conhecido como *Deck Ligth*® é composto de painéis em alumínio e revestidos com chapa compensada plastificada. Os painéis são sustentados por escoras com cabeças especiais, denominadas *Drophead*®, que permitem a desforma dos painéis mantendo-se a laje ainda escorada. Esse mecanismo possibilita a retirada e o reaproveitamento de toda a forma dos panos de laje apenas um dia após a sua execução, proporcionando maior rapidez nos ciclos de concretagem e a economia de um jogo de forma na obra, permitindo a redução de fissuras e deformações nas lajes (MILLS, 2011). A Figura 2 apresenta a fotografia de uma laje montada com o sistema modular.

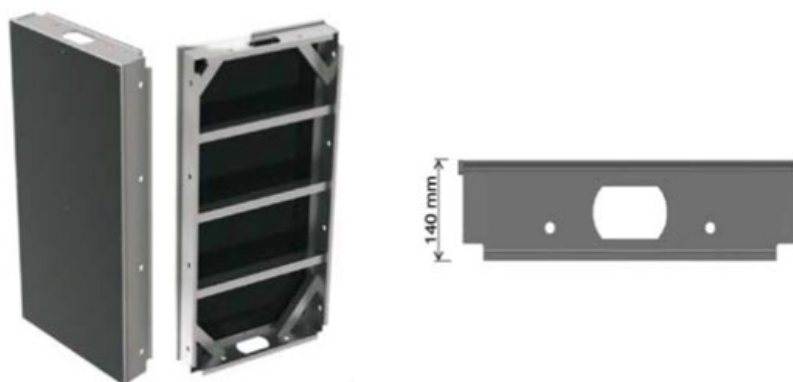
**Figura 2:** Sistema modular.



**Fonte:** Elaboração própria, 2021.

O referido sistema de modular da empresa Mills apresenta o maior painel com massa de 26,65 kg com compensado e espessura de 140 mm, da face do suporte do painel até o concreto acabado, proporcionando um encaixe que impeça o vazamento do concreto no enchimento das formas. Os painéis modulares possuem estruturação suficiente para permitir a sua utilização na execução de lajes com até 30 cm de espessura (MILLS, 2011). A taxa de produtividade de montagem desses painéis é de 0,30 homens-hora por metro quadrado construído. A Figura 3 representa um dos vários modelos de painéis modulares e a Tabela 2 apresenta as dimensões e peso dos painéis.

**Figura 3:** Painel modular DECK LIGHT.



Fonte: MILLS, 2011.

**Tabela 2:** Dimensões e peso dos painéis.

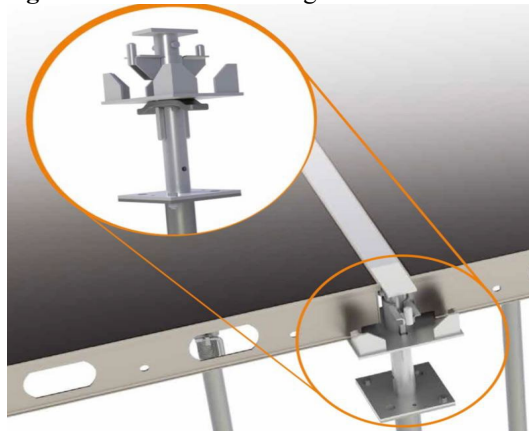
Painel (mm)	Peso com compensado (kg)	Peso sem compensado (kg)
2000 x 900	26,65	16,11
2000 x 600	20,23	13,22
1000 x 900	14,85	9,67
1000 x 600	11,28	7,82

Fonte: MILLS, 2011.

Existem 3 tipos de suporte para o sistema modular *Deck Ligth®*, sendo um para cada situação de escoramento. Segundo seu manual de utilização o dispositivo possui uma coluna fixa que suporta a laje e uma bandeja móvel onde se apoiam os painéis. Dessa forma, a coluna fixa é mantida na posição de escoramento fixo através de uma trava radial sob ela. O sistema de escoramento é utilizado na linha de escoramento fixo, onde os painéis são encaixados em suas garras. Suas dimensões garantem o encaixe correto dos painéis: possui uma base com 4 furos de diâmetro 8 mm para fixação na escora, uma altura total de 35 cm. Além disso, para auxiliar na vedação dos painéis nos pontos de apoio e junção, são utilizados perfis de alumínio

(MILLS, 2011). A Figura 4, apresenta o detalhe de aplicação do sistema Drophead® e a viga de escoramento.

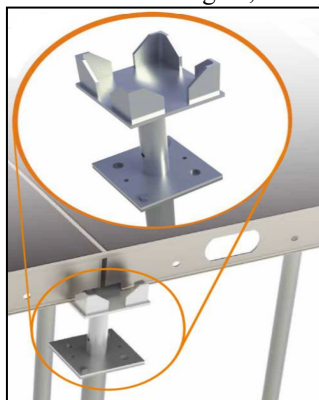
**Figura 4:** Detalhe de montagem do DROPHEAD.



**Fonte:** MILLS, 2016.

O suporte fixo é utilizado na faixa de desforma. Suas dimensões garantem o encaixe correto dos painéis: possui uma base com 4 furos de diâmetro 8 mm para fixação na escora pois, na ocasião de demanda das linhas de desforma, as escoras remanescentes devem suportar a carga. Sua utilização estará condicionada a capacidade de carga da escora do sistema, que permita retirar 50% das escoras, e as remanescentes suportem a carga atuante da laje. (MILLS, 2011). A Figura 5 apresenta a aplicação do suporte fixo e sua relação com o encaixe dos painéis.

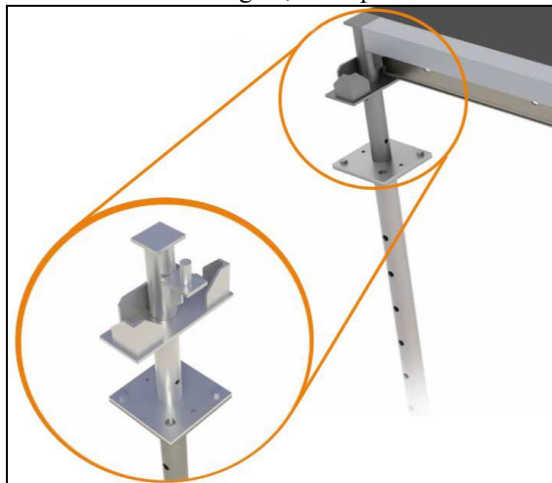
**Figura 5:** Detalhe de montagem, do suporte fixo.



**Fonte:** MILLS, 2011.

Em situações em que não é possível manter os painéis alinhados na paginação da laje é utilizado um suporte fixo intermediário. Nestes casos os painéis ficam descasados e nestes pontos não é possível utilizar o *Drophead*. A Figura 6, a montagem de suportes fixos intermediários apoiando o painel e viga guia de reescoramento. A mesma estrutura também pode ser utilizada nas extremidades das linhas de escoramento. Os suportes são fixados por uma chapa de base universal que permite a adaptação de qualquer tipo de escora.

**Figura 6:** Detalhe de montagem, do Suporte Fixo Intermediário.



Fonte: MILLS, 2011.

O escoramento da estrutura modular tem como finalidade transmitir as cargas verticais para o apoio. As escoras metálicas são compostas por um tubo base, um tubo telescópico, rosca (porca) e pino trava (grampo). O tubo telescópico possui uma furação contínua, que com o auxílio do pino permite a regulagem da altura. A regulagem fina é realizada através de rosca, conforme pode ser visto na Figura 7. Existem diversas escoras metálicas para cada situação, e a mais utilizada para lajes com o pé direito entre 1,80m a 3,00m, é o modelo denominado 2t, fabricada em aço pesando 17,8kg, que chega a suportar até 2.500 kg.

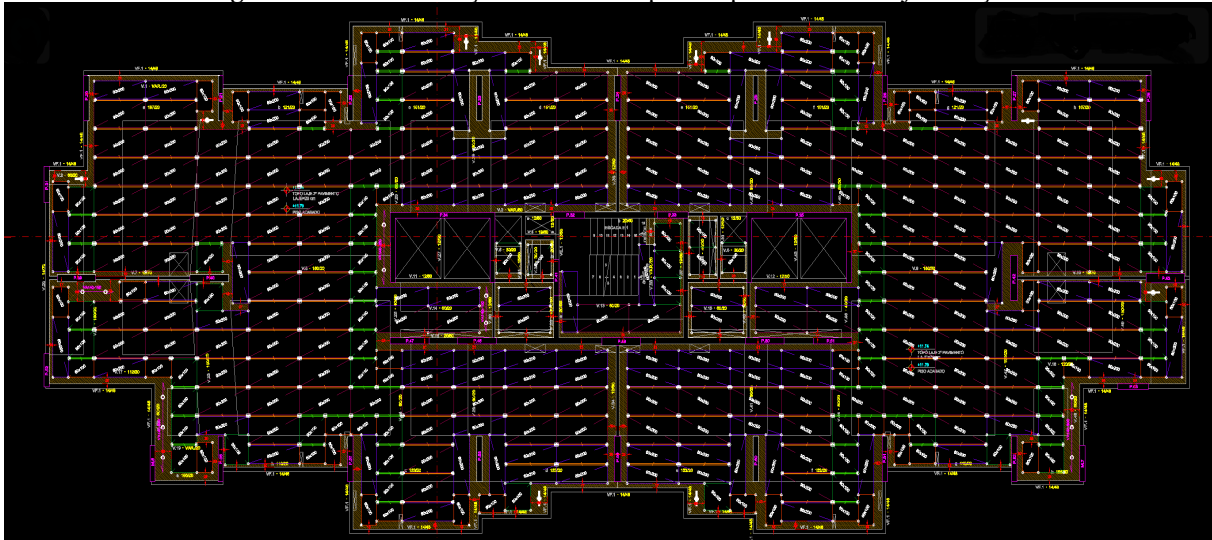
**Figura 7:** Detalhe Escora Metálica.



Fonte: MILLS, 2016.

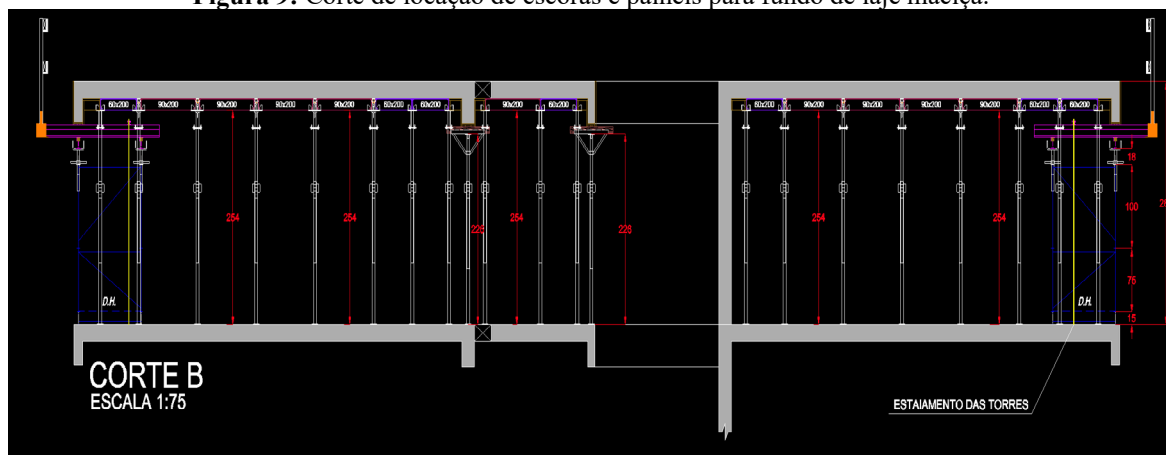
Figuras 8 e 9, planta de locação e corte das escoras e painéis para o fundo lajes maciça.

**Figura 8:** Planta de localização de escoras e painéis para fundo de laje maciça.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

**Figura 9:** Corte de localização de escoras e painéis para fundo de laje maciça.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

O sistema modular, não permite um acabamento perfeito pois, após a desfôrma, ficam marcas nas emendas entre os painéis. O sistema modular costuma ser usado com sucesso com tetos de garagens aparentes, por exemplo. Na Figura 10 é apresentado o acabamento final da laje plana maciça, de um pavimento tipo com sistema modular.



**Figura 10:** Acabamento Final (Produto Final) – Sistema modular.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

## SISTEMA CONVENCIONAL COM TORRES

A maneira mais usual de escoramento de laje é usar um compensado, apoiado com perfis secundários (barroteamento) sobre perfis primários (guias) acima do escoras ou torres os compensados servirão de molde para as lajes.

Esta solução é mista, ou seja, com a presença de peças de diferentes materiais, indicada para lajes que possuam muitos recortes ou seja que tenha a necessidade de muitos arremates. O sistema é composto por perfis que podem ser utilizados como vigas secundárias ou primárias, posicionando sobre torres de carga e escoramentos. Os perfis podem ser metálicos, alumínio ou em vigas de madeira, de alturas e resistências variáveis. Cada material possui suas propriedades mecânicas, e por isso é recomendado um estudo detalhado para a escolha da melhor solução, a fim de evitar possíveis transtornos futuros. O sistema traz maior produtividade nas lajes com muitas vigas, rampas e pé direito acima de 4,50m, pois utilização de escoras de aço não é possível, utilizado também. Figura 11 apresenta a aplicação do sistema convencional com torres.

**Figura 11:** Cimbramento - Sistema Convencional.

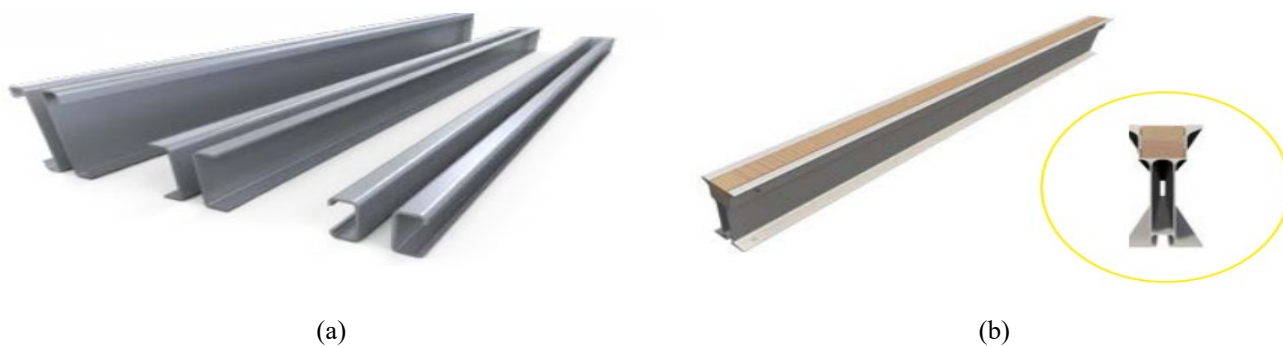


**Fonte:** Sistema de Torre ETEM, 2008.

O cimbramento de estruturas pode ser utilizados perfis metálicos e de madeira. Perfis de metálicos são os mais comumente utilizados em construções de médio e grande no Brasil, sendo encontrados em diversos tamanhos e espessuras.

Os perfis metálicos tem variadas alturas e resistências, e o mesmo é indicado para cimbramento primário e secundário, sendo os perfis C-05 e C-7,5 indicados como secundário, e o C-12 como primário. Ainda como perfil metálico, destacam-se os perfis de alumínio que podem ser encontrados em diversos comprimentos e espessuras em execução de lajes em obras residenciais e, por ser muito leve, aumenta a produtividade da obra, facilitando a movimentação e armazenamento do mesmo. A Figura 12 apresenta dois tipos de perfis metálicos.

**Figura 12:** Perfis metálicos: (a) perfil metálico do tipo C e (b) perfil metálico de alumínio.



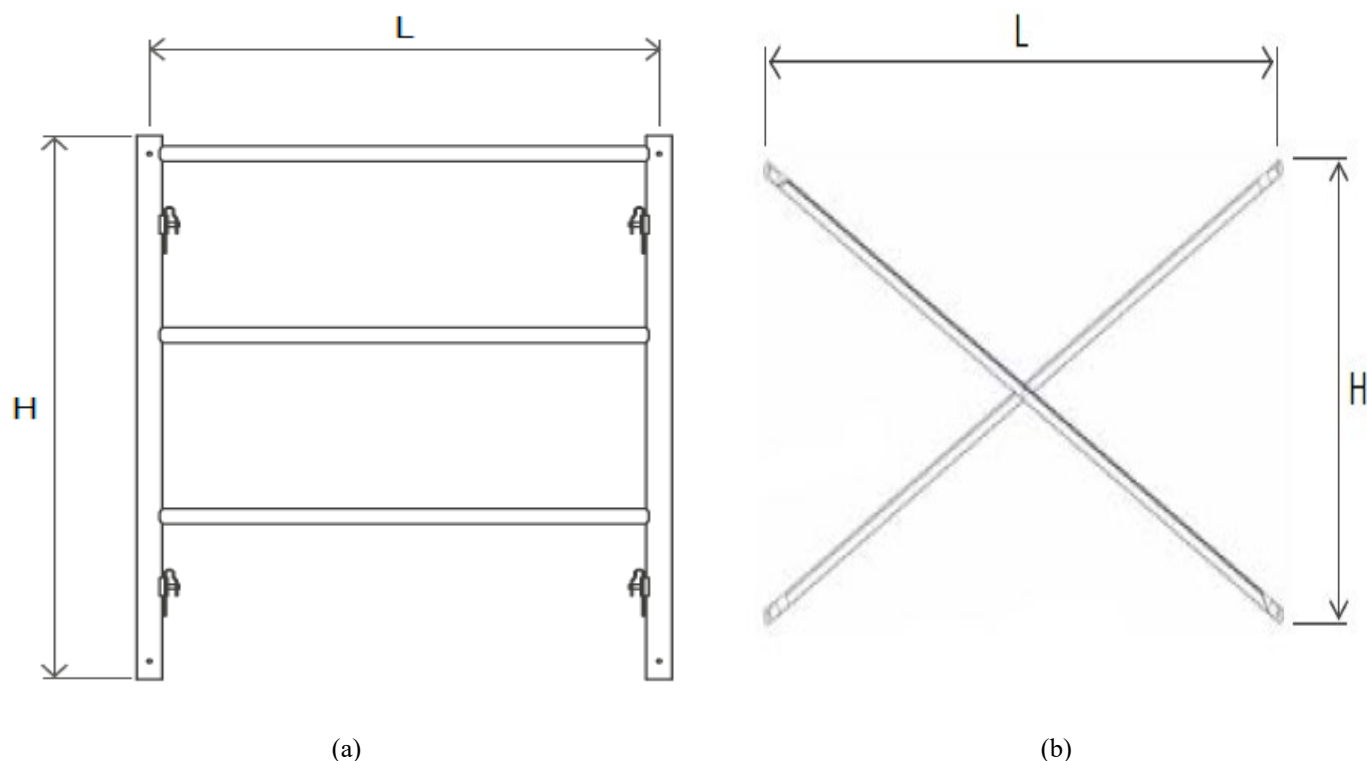
**Fonte:** SH FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ANDAIMES, 2020.

O suporte, também conhecido como forçado é utilizado como suporte para apoiar o vigamento e transmitir as cargas oriundas deste para os postes (torres). O suporte simples é utilizado para apoiar e nivelar as vigas primárias de escoramento. O suporte ajustável simples TS não deve ser utilizado em torres com transpasse de viga. Já o Suporte Ajustável duplo, permite realizar transpasse de viga pois este elemento comporta duas vigas por vez.

A torres são compostas de quadros, destinados ao escoramento de grandes cargas e alturas elevadas. Um dos principais elementos das torres são os quadros responsável por transmitir as cargas atuantes para o apoio. Os mesmos podem ser encontrados de com largura e altura de diversos tamanhos, bem como diversas marcas, conseqüentemente com especificações diferentes dependendo do fabricante. Figura 13, quadro 10t, um dos vários modelos de quadro para torres metálicas disponíveis no mercado.

As diagonais também conhecidas como cruzetas, tem como função fazer a interligação dos quadros bem como contraventamento dos mesmos. montados. Figura 13 apresenta o quadro 10t e diagonais para travamento os mesmos podem ser encontrados com largura e altura de diversos tamanhos, bem como diversas marcas, conseqüentemente com especificações diferentes de acordo com seu fabricante.

**Figura 13:** Representação esquemática de Quadro 10t : (a) vista frontal e (b) vista lateral.



**Fonte:** MILLS, 2016.

Os fueiros (luvas) tem como função fazer o transpasse dos quadros permitindo assim a elevação dos mesmos. Os quadros superiores devem ser encaixados nos fueiros dos quadros inferiores já montados. Lembrando que os mesmos podem ser encontrados no mercado com especificações diferentes de acordo com o fabricante e sistema utilizado.

A sapata ajustável é ideal para terrenos desnivelados, ou seja, com necessidade de ajuste. Proporciona excelente estabilidade e é indicada em situações de solos menos consistentes. As sapatas ajustáveis têm como função fazer o encaixe na base do poste, podendo nivelar o mesmo de acordo com terreno ou pé direito. Figura 14, um dos vários modelos de sistema convencional com torres, aplicado localmente com perfil C metálico como viga primária e secundária bem como assoalhado com as chapas de madeirite plastificado.

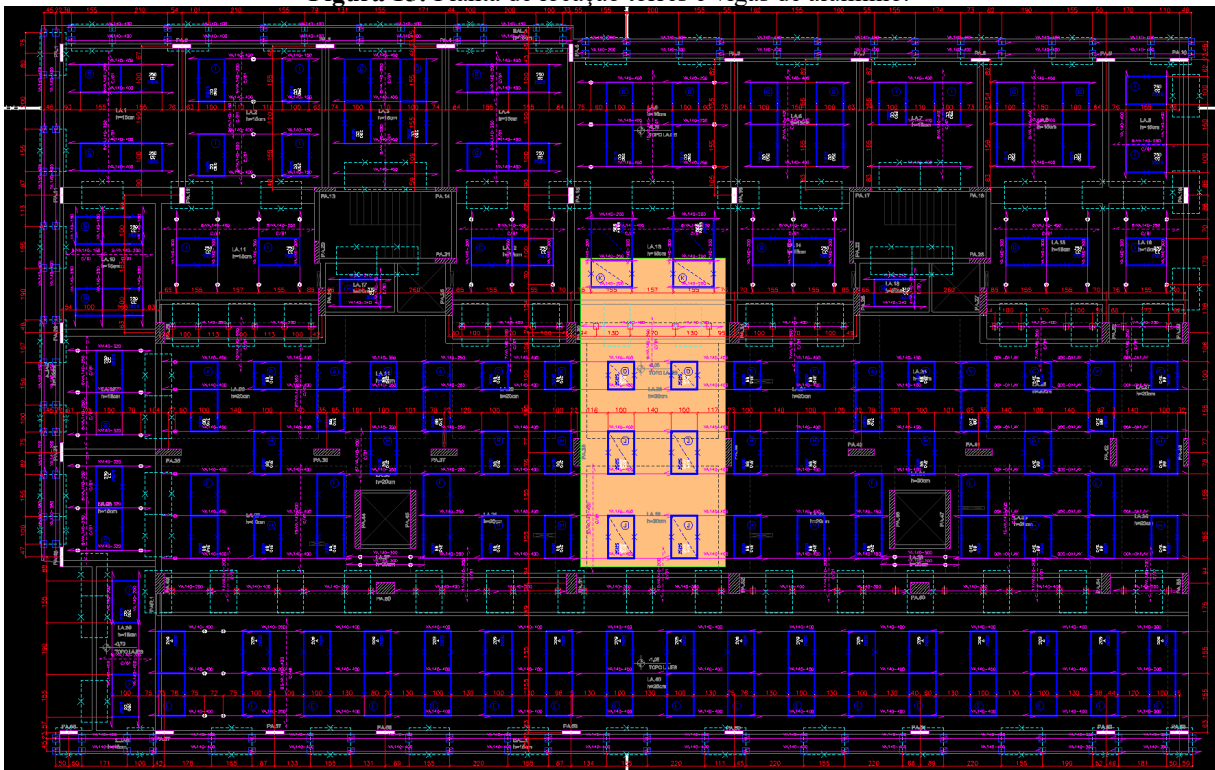
**Figura 14:** Cimbramento - Sistema Convencional com Torres – Assoalho.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

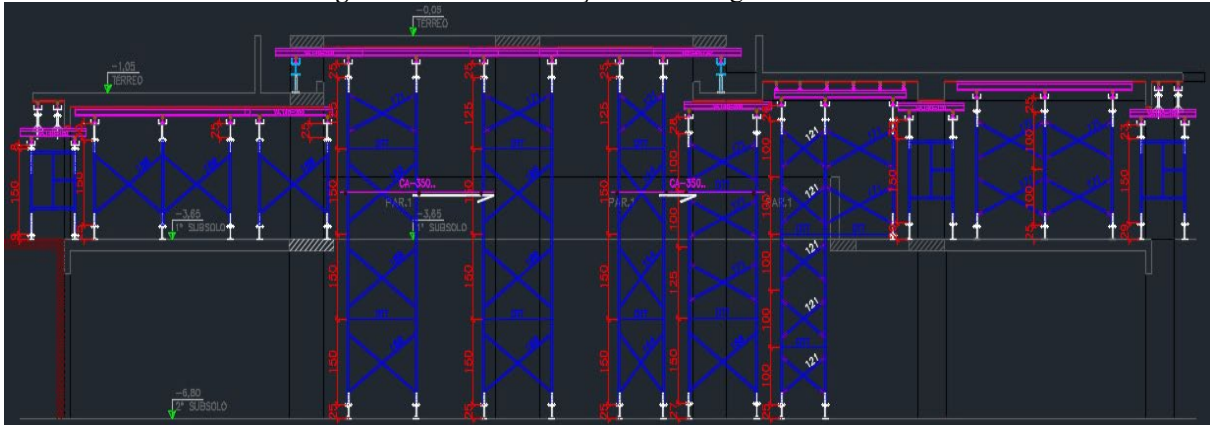
Figuras 15 e 16, podemos identificar a planta de locação e corte de torres vigas de alumínio para o fundo de laje.

**Figura 15:** Planta de locação torres e vigas de alumínio.



Fonte: Elaboração própria.

**Figura 16:** Corte de locação torres e vigas de alumínio.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

Figura 17, aplicação In Loco, do sistema convencional com torres de uma rampa com um dos vários modelos de sistema convencional encontrados no Brasil, o cimbramento com perfil de alumínio como viga primária e secundária o assoalho com chapas de madeirite plastificado.

**Figura 17:** Cimbramento - sistema Convencional – Rampa.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

O sistema convencional, não permite um acabamento perfeito pois, após a desfôrma, ficam marcas nas emendas entre as chapas de madeirite.

**Figura 21:** Acabamento Final (Produto Final) – Sistema convencional.



**Fonte:** Elaboração própria, 2021.

## **COMPARATIVO ENTRE SISTEMA CONVENCIONAL X SISTEMA MODULAR**

### **Vantagens e desvantagens**

O sistema modular apresenta a praticidade, rapidez e facilidade na montagem das estruturas, o que se apresenta como alguns dos motivos que fazem com que mais empresas optem por sua utilização. O sistema é modulável e com alta taxa de reaproveitamento, o que diminui a quantidade de madeira com necessidade de corte em obra, o que gera diminuição de risco de acidentes, devido à redução de uso de máquinas de corte. Entretanto tal sistema não se adapta bem a lajes com grandes quantidades de vigas e capitéis, devido a necessidade de recortes e arremates nas chapas de madeirite.

Já o sistema convencional com torres, a produtividade aumenta consideravelmente quando temos um projeto estrutural complexo, com lajes com pé direito elevado, várias formas geométricas, quantidade maior de pilares, vigas, lajes pequenas, vários panos de lajes. Assim os colaboradores têm maior facilidade de assoalhar os panos de laje com as chapas de madeirite devido o mesmo ser moldado in loco, diminuindo assim os recortes dos arremates de pilares, vigas e capitéis. Como desvantagens pode-se citar a necessidade de muitos pilares de apoio e o tempo gasto para sua montagem e desmontagem podem representar um elevado período de tempo de obra e locação de equipamentos.

No Quadro 1 é apresentado um comparativo entre o sistema convencional e sistema modular de acordo com vivência no canteiro de obras.

**Quadro 1:** Comparativo Entre o Sistema Convencional e Sistema Modular.

<b>Variável</b>	<b>SISTEMA CONVENCIONAL</b>	<b>SISTEMA MODULAR</b>
Projeto Arquitetônico	Aplica-se a praticamente todas as formas geométricas, basta ter no canteiro de obras os equipamentos necessários.	Quando se trata de estruturas com muita geometria, não são recomendadas, pois os seus painéis são modulados. Tornando necessária a utilização de arremates em vários pontos ou até inviabilizando o uso desse sistema.
Projeto Estrutural	Em panos de laje onde tem uma quantidade significativa de vigamento e pilares faz com que torne os trabalhos mais rápido e com um melhor custo benefício.	Deve – se sempre estar em sintonia com o projeto de montagem dos painéis modulares, para padronizar a estrutura as dimensões os painéis evitando assim muitos arremates.
Número de Utilizações do assoalho (compensado)	Compensado plastificado: 04 a 06 lajes maciça. Evidentemente chapas de madeirite que são retirados com pé – de – cabra, sofrem avaria provido de impactos, podendo assim diminuir significativamente a quantidade de vezes de utilização.	São painéis fabricados buscando um grande número de reutilizações e baixa manutenção. Mesmo os painéis metálicos, com chapa de compensado plastificado embutida tem uma expectativa de ser utilizado acima de 06 a 08 vezes. Devido a produtividade, dependendo como for a desforma, os painéis metálicos e chapas de compensado pode danificar diminuindo significativamente a quantidade de vezes de utilização.
Produtividade	Quando temos um projeto estrutural complexo, com várias formas geométricas, muitos pilares, vigas, lajes pequenas, vários panos de lajes, obtemos ótimos resultados.	Quando o projeto leva em conta a modulação dos painéis, e a estrutura conta com número reduzido de vigas e pilares, a fôrma modular é imbatível.
Perdas no processo	Uma maneira de evitar a perda no processo, é identificação das peças, com uma numeração idêntica ao projeto estrutural ou criada em obra mesmo. Com relação as torres devemos ter os mesmos cuidados com peças pequenas e soltas, evitando assim quebras ou perdas.	Como sua durabilidade é muito maior, devemos voltar nossa atenção a peças pequenas e soltas, evitando quebras ou perdas.

**Fonte:** Elaboração própria, 2021.

## CONCLUSÃO

Notavelmente, cada canteiro de obra tem suas características, seu sistema de gestão integrado, seu cronograma, número de operários e tecnologias empregadas, o que é de grande importância quando pretende-se fazer uma análise comparativa de sistemas de fôrmas e escoramento.



O mercado oferece várias opções de sistema de forma e escoramento para execução de uma obra. A complexidade da geometria da laje é um importante fator a se considerar na escolha do sistema construtivo, uma vez geometrias de mais complexas, abóbadas por exemplo, tornam inviável o uso do sistema modular. A construção de grandes lajes planas, como em edifícios comerciais ou em prédios habitacionais de muitos pavimentos, o sistema modular pode ser um método viável pela agilidade em montagem e desmontagem das estruturas, além do melhor acabamento do concreto, compensando assim o maior custo de aluguel ou aquisição das peças de montagem, frente ao grande número de estruturas a serem construídas. Para pequenas obras, o sistema de torres, seja por madeiramento ou por escoras metálicas apresenta a vantagem econômica.

Assim, deve-se levar em consideração outras variáveis, dentre as mais importantes para o sucesso do empreendimento cita-se a produtividade, o prazo de entrega, a qualidade do produto e a adequação do sistema ao projeto, sempre considerando os aspectos de segurança da obra. Muitas vezes, o orçamento estipulado para a obra, não permite a escolha do sistema mais produtivo que proporcione grande agilidade na construção, sendo um fator importante na escolha do método construtivo.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 15696 – 2009. **Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSAHI, P. N. Sistema de fôrma para estrutura de concreto. Simpósio sobre Estruturas de Concreto, v. 5, 2005.: s.n. Disponível em: [http://www.deecc.ufc.br/Download/TB736\\_construcao%20de%20edificios/Estruturas%20de%20Concreto%20Armado\\_agosto%20de%202005/Texto%20Paulo%20Assahi%20-%20SISTEMAS%20DE%20F%20D4RMAS.pdf](http://www.deecc.ufc.br/Download/TB736_construcao%20de%20edificios/Estruturas%20de%20Concreto%20Armado_agosto%20de%202005/Texto%20Paulo%20Assahi%20-%20SISTEMAS%20DE%20F%20D4RMAS.pdf). Acesso em 02 de set. de 2021.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 411 de 06 de maio de 2009** - Dispõe sobre procedimentos para inspeção de indústrias consumidoras ou transformadoras de produtos e subprodutos florestais madeireiros de origem nativa, bem como os respectivos padrões de nomenclatura e coeficientes de rendimento volumétricos, inclusive carvão vegetal e resíduos de serraria. 2009. Disponível em <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=111070>. Acesso em 10 de set. de 2021.

DANTAS, A. K. C. Produtividade e custo no sistema de fôrmas: mesa voadora x cimbria convencional usadas em concreto protendido. **Revista Especialize On-line IPOG.** Goiânia, Ano 9, n. 15, vol. 01, julho/2018.

NAZAR, N. **Fôrmas e escoramentos para edifícios. Critérios para dimensionamento e escolha do sistema.** São Paulo, PINI, 2007, 1ª ed.

MILLS ESTRUTURAS E SERVIÇOS DE ENGENHARIA S.A. Manual de utilização Deck Light. 1ª ed. 2011. Acessado em 10 de out. 2021.

MILLS ESTRUTURAS E SERVIÇOS DE ENGENHARIA S.A. Manual de utilização e montagem, Sistema TS Mills. 2ª ed. 2016. Acessado em 10 de out. 2021.

PEREIRA, C. **Madeirite: O que é, principais tipos e suas aplicações.** Escola Engenharia, 2019. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/madeirite/>. Acesso em: 11 de out. de 2021.

REMADE. Conheça os tipos de peças de madeira, s.d. Disponível em: <http://www.remade.com.br>, Acesso em 05 de set. 2021.

ROHR ESTRUTURAS, **sistema de torre ETEM.** Disponível em: <https://rohr.com.br/produto/escoramento-sistema-de-torre-etem/> Acesso em 17 de ago. 2021. SH FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ANDAIMES. Manual SH de fôrmas para concreto e escoramentos metálicos. 1ª ed. São Paulo: PINI, 287 p., 2008.

SH FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ANDAIMES. SH Catálogo de equipamentos - Soluções para lajes. 2020. Disponível em: <https://sh.com.br/pt/>. Acesso em 15 de ago. de 2021.

YAZIGI, W. **A TÉCNICA DE EDIFICAR,** São Paulo, PINI, 2013, 12. Edição.

# CAPÍTULO 12

## ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA SUBSTITUIÇÃO DO ASFALTO CONVENCIONAL PARA O PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO ALTERNATIVA DE DIMINUIR AS ENCHENTES NAS ÁREAS URBANAS

**Ronieri Correa Camelo**  
**Felipe da Cruz Dias**

### RESUMO

A urbanização desenfreada e sem planejamento de grandes centros urbanos tem aumentado o número de casos com enchentes e alagamentos, muitas vezes agravados pela impermeabilização do solo. Diante dessa necessidade de se ponderar alternativas para mitigar esse problema foi realizado um estudo bibliográfico, comparando duas alternativas de pavimento, tradicional e permeável, visando elencar as possíveis vantagens do pavimento permeável, bem como a viabilidade do aproveitamento da água filtrada pelo pavimento.


**PALAVRAS-CHAVES:** Pavimento Permeável; Asfalto Convencional; Inundações; Escoamento Superficial.

### INTRODUÇÃO

A inundação urbana é uma ocorrência tão antiga quanto as cidades ou qualquer aglomeramento urbano. Estes eventos podem ocorrer devido ao comportamento natural dos rios, ou ampliados pelo efeito de alteração produzida pelo homem na urbanização pela impermeabilização das superfícies e a canalização dos rios. Quando a precipitação é intensa e o solo não tem capacidade de infiltrar, grande parte do volume escoava para o sistema de drenagem, superando sua capacidade natural de escoamento. (TUCCI, 2005)

Atualmente tem se verificado a crescente impermeabilização das superfícies resultante da urbanização das cidades. Em uma área com cobertura florestal, 95% da água da chuva se infiltra no solo, enquanto nas áreas urbanas este percentual cai para apenas 5%. Com a drenagem da água através do solo, prejudicada devido às vias pavimentadas e o grande número de construções, o escoamento e o retorno ao lençol freático tornam-se mais difíceis, resultando em alterações nos leitos dos rios e dos canais e aumento no volume e constância das enchentes. (MARCHIONI & SILVA 2010; SANTOS JR & SANTOS, 2014)

O aumento de enchentes nas áreas urbanas devido o escoamento superficial, pode acarretar na contaminação de corpo de água. Para Tucci & Bertoni (2003), o escoamento superficial gera impacto nas nascentes de água superficiais e subterrâneas causando sua



contaminação, inundações nas áreas urbanas, erosão e sedimentação, gerando áreas degradadas. O escoamento superficial propicia um aumento na carga de poluentes que atinge os corpos d'água, pois ao percorrer sobre pavimentos e calçadas, promove o transporte dos poluentes presentes nesses locais até as águas receptoras, ocasionando sua degradação. (BARRETT et al., 1998; SOUZA, 2004; BECKER & PINHEIRO, 2019)

Como estratégia para redução das enchentes urbanas, podem ser utilizados pavimentos permeáveis que permitem a infiltração do escoamento superficial. O pavimento permeável, além de promover a redução do volume do escoamento superficial, melhora na qualidade desta água que por ele percola e que durante o escoamento pode ser poluída com metais pesados, óleos, resíduos de animais, poeira, dentre outros. (THOMLE, 2010; CHANDRAPPA & BILIGIRI, 2016; BECKER & PINHEIRO, 2019)

Com base nisso, o presente trabalho realizou um estudo bibliográfico sobre pavimentos asfálticos, tradicionalmente utilizados e o pavimento permeável, buscando comparar as vantagens e desvantagens desta alternativa, bem como estudos que apontem a viabilidade da utilização da água filtrada pelo pavimento permeável.

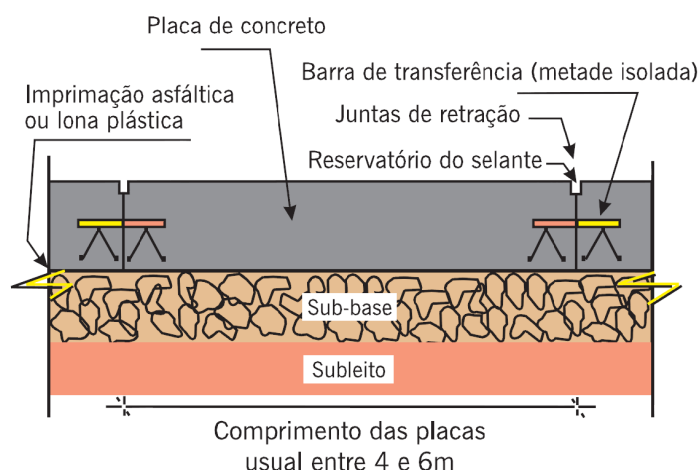
## O QUE É PAVIMENTO?

Para o melhor entendimento do trabalho desenvolvido, para princípio de comparação entre o asfalto (pavimento flexível) e o pavimento permeável, é necessário saber o conceito de pavimento. Segundo a NBR 7207/82 pavimento é a estrutura construída após a terraplanagem e destinada, econômica e simultaneamente em seu conjunto a:

- resistir a distribuição ao subleito os esforços verticais oriundos do tráfego;
- melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e conforto;
- resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento.

Pode-se ainda classificar o pavimento em rígido, semirrígido e flexível. O pavimento rígido ou pavimento de concreto simples, é o pavimento cuja camada é constituída por placas de concreto de cimento Portland, não armadas ou eventualmente com armadura sem função estrutural, que desempenham simultaneamente as funções de base e de revestimento (DNIT, 2004), conforme representado na Figura 1.

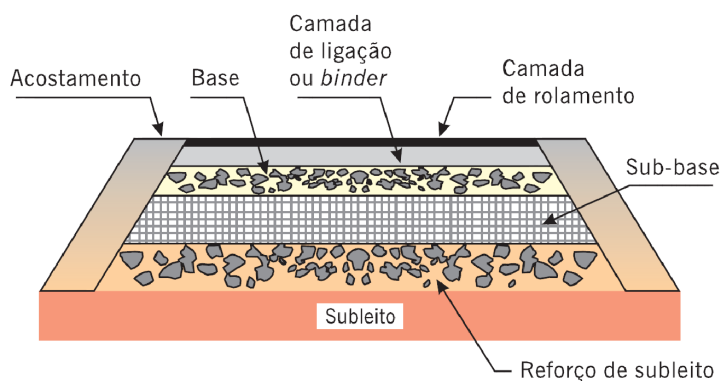
**Figura 1:** Concreto-cimento (corte longitudinal).



**Fonte:** BERNUNCCI et al. (2008).

Já o pavimento flexível ou pavimento asfáltico é aquele em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos (BERNUNCCI et al. 2008), conforme representado na Figura 2.

**Figura 2:** Camadas do pavimento asfáltico (corte transversal).



**Fonte:** BERNUNCCI et al. (2008).

Esse tipo de pavimento tem como sua principal vantagem, a manutenção. Se o projeto é ideal e executado conforme as normas técnicas, sua durabilidade pode variar entre cinco e dez anos e, se for necessário removê-lo, pode-se utilizar a reciclagem total ou parcial do mesmo. (SILVA & SIQUEIRA 2019)

O pavimento asfáltico sendo o pavimento mais utilizado em nossas pistas de rolagem, mesmo sendo mais barato e mais fácil executar sua estrutura, acaba por prejudicar a infiltração da água no solo e gerando várias consequências no ambiente.

## IMPACTO AMBIENTAL

Nos grandes centros urbanos a utilização do asfalto convencional, além da grande densidade de áreas construídas e pavimentadas e com a baixa densidade de áreas verdes, nota-se uma considerável elevação da temperatura do ar local. (LUIZ et al., 2020)

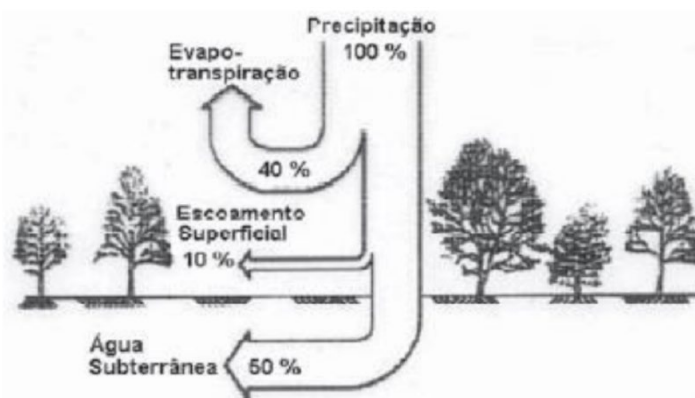
O asfalto, além de ser um corpo sólido (negro) que segundo a física absorve toda a radiação térmica incidente, têm propriedades que contribuem para a formação das ilhas de calor, como por exemplo, a utilização de agregados finos que aumentam sua compactação e diminuem o número de vazios, além da sua composição formada pelo impermeabilizante betuminoso que não absorve umidade (LUIZ et al., 2020). Este problema é agravado pelo efeito das "ilhas de calor", onde o aumento de temperatura em áreas densamente povoadas acaba por intensificar a precipitação (MARCHIONI & SILVA, 2010). Trazendo como consequência desconforto térmico, problemas de saúde, elevação do consumo de energia para refrigeração dos ambientes, maior poluição do ar, dentre outros. (OKE, 1987)

Além dos impactos decorrentes diretamente do escoamento da água, o acúmulo de detritos diversos nas superfícies das ruas, calçadas, estacionamentos e garagens acabam sendo levados para os rios e canais durante as enxurradas. Este tipo de poluição é ainda mais difícil de controlar por não possuir uma fonte pontual definida, como o caso da descarga de esgoto de uma fábrica ou de uma residência. (MARCHIONI & SILVA, 2010)

A cada nova construção de casa, prédio comercial ou industrial com ruas asfaltadas, a vazão das águas pluviais escoadas superficialmente aumenta. (Luiz et al., 2020)

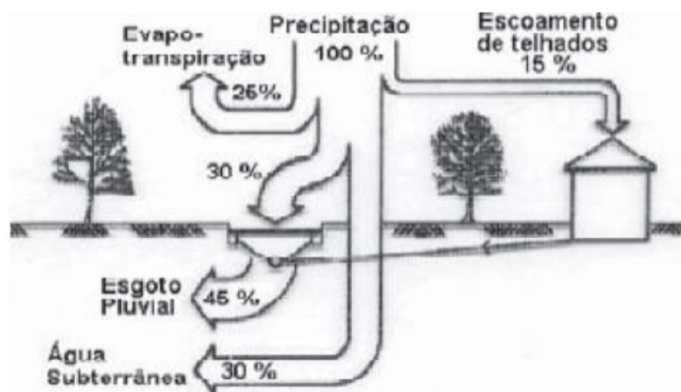
Para Pinto (2011), quando ocorre as chuvas, essa contribuição se transforma em escoamento superficial, resultando no aumento dos volumes drenados, nos picos de vazão e na redução do tempo de concentração da bacia, conforme apresentado nas Figuras 3 e 4.

**Figura 3:** Cenário sem urbanização.



Fonte: OECD 1986, apud Tucci e Bertoni (2003).

**Figura 4:** Cenário com urbanização.



Fonte: OECD 1986, apud Tucci e Bertoni 2003.

Um menor volume de água passa a infiltrar, o que afeta a recarga dos aquíferos, também ocorre um aumento do escoamento superficial que por ser conduzido pelo sistema de drenagem, passa a ter um menor tempo e uma maior velocidade de escoamento (ALVES, 2016). Como consequência as vazões máximas aumentam e antecipam os picos no tempo conforme Figura 5.

**Figura 5:** Alteração do escoamento devido a urbanização.

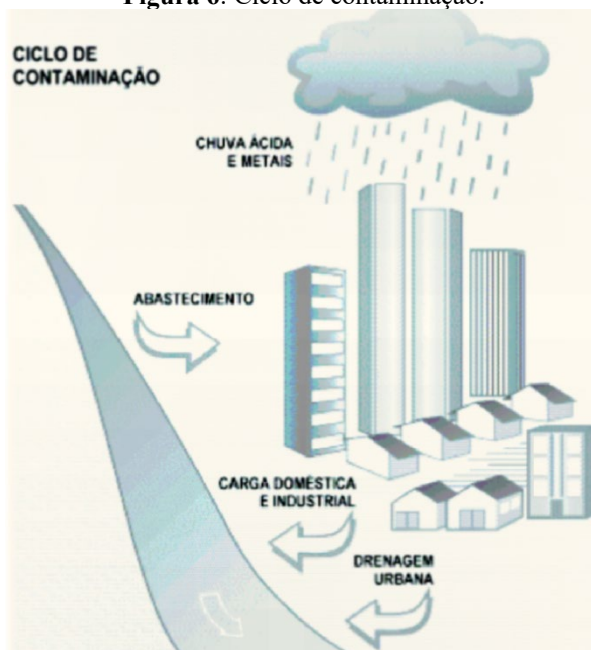


Fonte: Schueler (1987) apud Tucci (2006).

Sendo assim essa situação pode acarretar a obsolescência gradual e incontrolável das redes de drenagem convencional levando a inundações cada vez mais frequentes em áreas urbanizadas, causando imensas consequências sociais, ambientais, políticas e econômica. (Pinto, 2011)

Com o aumento da urbanização e com o uso de produtos químicos na agricultura e no ambiente em geral, a água utilizada nas cidades, indústrias e na agricultura retorna aos rios totalmente contaminada (Figura 6). A consequência da expansão sem uma visão ambiental é a deterioração dos mananciais e a redução da cobertura de água segura para a população, ou seja, a escassez qualitativa. (Tucci, 2005)

Figura 6: Ciclo de contaminação.



Fonte: Tucci & Bertoni (2003).

Este processo necessita de diferentes ações preventivas de planejamento urbano e ambiental visando minimizar os impactos e buscar o desejável desenvolvimento sustentável. (Tucci 2005).

Uma das alternativas para reduzir estes impactos é a utilização de pavimentos permeáveis, que podem ser utilizados como via para pedestres, estacionamentos e para tráfego de veículos ao mesmo tempo que permitem a infiltração da água, colaborando assim com a diminuição das superfícies impermeabilizadas na cidade. (MARCHIONI & SILVA, 2010)

### O QUE É O PAVIMENTO PERMEÁVEL?

Pavimentos permeáveis são definidos como sendo aqueles que possuem espaços livres em sua estrutura por onde a água pode escoar, podendo infiltrar no solo ou ser transportada através de sistema auxiliar de drenagem. Este tipo de pavimento busca reduzir o volume de água referente ao escoamento superficial e por consequência, reduzir a solicitação do sistema de drenagem urbana e a probabilidade de enchentes. Como efeitos complementares, tem-se a melhora da qualidade de água infiltrada por carrear menos quantidade de poluição difusa e a contribuição para a recarga. (FERGUNSON, 2005)

Pavimentos permeáveis são projetados para substituir áreas impermeáveis, e não para regular águas pluviais das outras superfícies. Por outro lado, o uso desta técnica deve ser parte de um sistema global de gestão para água pluviais, e não pode ser considerado um substituto para outras técnicas. Esse fato se deve, porque em um evento que envolva grande volume de



água, como no caso de chuvas intensas, o lençol freático pode subir e limitar a absorção pelo solo.

Portanto, pode-se afirmar que os pavimentos permeáveis evitam este tipo de escoamento superficial, e podem garantir que praticamente 100% da água seja infiltrada através de sua estrutura, podendo esta infiltrar no solo ou ser transportada através de sistemas auxiliares de drenagem, o que acarreta menos danos ao meio ambiente. (SILVA E SIQUEIRA, 2019)

A Figura 7 ilustra o processo de percolação de água pelos poros do pavimento permeável.

**Figura 7:** Comparação do pavimento impermeável com o pavimento permeável.




**Fonte:** Fernandes (2020).

As principais diferenças entre o asfalto convencional e o asfalto permeável é o elevado índice de vazios do asfalto permeável devido ao aumento de tamanho granulométrico, constituído para drenar de modo eficiente a água superficial. O asfalto convencional é impermeabilizado em suas camadas mais superficiais afim de conferir maior resistência mecânica. (Pires et al., 2018)

## VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PAVIMENTO PERMEÁVEL

### Vantagem:

O pavimento poroso pode substituir o pavimento convencional em área de estacionamento, área com tráfego leve e acostamentos de pistas de taxiamento de aeroportos e pistas, desde que as inclinações, solos, características de drenagem e condições do lençol freático sejam adequados. As encostas devem ser planas ou muito suaves. (USEPA, 1999)



Segundo o USEPA (1999), esses são algumas vantagens do uso de pavimento permeável:

- Tratamento de água da chuva através da remoção de poluentes (USEPA, 1999), filtragem de poluentes e melhora a qualidade das águas infiltradas ou mesmo das encaminhadas para o sistema de drenagem; (Pinto, 2011)
- Menor necessidade de meio fio e esgotos pluviais; (USEPA, 1999)
- Aumento da segurança nas estradas diminuindo a aquaplanagem; (USEPA, 1999)
- Dispositivos de infiltração recarregando os aquíferos locais; (USEPA, 1999)
- Reduz significativamente o volume de escoamento superficial, promovendo o amortecimento dos picos de cheia com o aumento do tempo de concentração da bacia onde o dispositivo está instalado; (Pinto, 2011)
- Controle da erosão do solo; (Pinto, 2011)
- Diminuição do ruído; (Pinto, 2011)
- A construção dos dispositivos de infiltração é normalmente simples e rápida e; (Bettess, 1996)
- Os custos em toda a sua vida útil podem ser menores que em outros sistemas de drenagem. (Bettess, 1996)

Segundo a USEPA (1999), o uso do pavimento permeável pode ser restrito em regiões frias, regiões áridas ou regiões com altas taxas de erosão eólica e áreas de aquíferos de fonte única. O uso de pavimento permeável é altamente restrito, exigindo solo profundo permeáveis, tráfego restrito e usos do solo adjacentes.

### **Desvantagem:**

Algumas desvantagens específicas do pavimento permeável incluem o seguinte:

- Muitos engenheiros de pavimentação e empreiteira carecem de experiência com essa tecnologia; (USEPA, 1999)
- O pavimento permeável tem a tendência de torna-se obstruído, se instalado ou mantido incorretamente; (USEPA, 1999)
- Mão de obra qualificada para execução da obra com a finalidade de prevenir a obstrução prematura do pavimento; (Pinto, 2011)
- Manutenção periódica com lavagem à vácuo; (Pinto, 2011)
- Existe altos índice de falhas na execução; (USEPA, 1999)

- Existe alguns riscos de contaminação da água subterrânea, dependendo das condições do solo e da suscetibilidade do aquífero; (USEPA, 1999)
- Necessidade de inspeções regulares para verificar a eficiência dos pavimentos e; (Pinto, 2011)
- Baixa resistência mecânica. (Fernandes, 2020)

## CUSTO:

O levantamento de custo foi levantado por Santos et al., (2019) com base nos valores apresentados pelo sistema SINAPI, podendo tais dimensionamentos ter seus custos unitários corrigidos conforme o momento de execução e utilização em qualquer data. Se tratando de uma estimativa, não serão levados em conta custos como manutenção, visto que os mesmos estão ligados ao tempo de vida útil do revestimento utilizado. O levantamento de custo foi adotado por um trecho de 20 metros de comprimento por 7 metros de largura para estudo, possibilitando a quantificação do custo por metro quadrado (R\$/m<sup>2</sup>). A comparação das tabelas (Tabela 1 e 2) tem os valores unitários e totais estimados da implantação do pavimento permeável (asfalto poroso) e do pavimento com sistema de drenagem convencional (asfalto comum).

**Tabela 1:** Análise de Custo para Implantação de pavimentos permeáveis com revestimento em asfalto poroso.

<b>Materiais:</b>	<b>Unid.</b>	<b>Quant.</b>	<b>Preço Unit.</b>	<b>Preço Total</b>
Brita graduada, diâmetro 1,5 cm	m <sup>3</sup>	42,1	R\$ 25,00	R\$ 1.052,50
Filtro geotêxtil	m <sup>2</sup>	147	R\$ 5,00	R\$ 735,00
Asfalto PMF, granulometria aberta	m <sup>3</sup>	10,5	R\$ 205,00	R\$ 2.152,50
<b>Sub-Total:</b>				<b>R\$ 3.940,00</b>
<b>Mão de obra:</b>				
Escavação	m <sup>3</sup>	52,6	R\$ 6,00	R\$ 315,60
Assentamento geotêxtil	m <sup>2</sup>	147	R\$ 4,00	R\$ 588,00
Assentamento de base em brita graduada	m <sup>3</sup>	42,1	R\$ 65,57	R\$ 2.760,50
Assentamento de asfalto	m <sup>3</sup>	10,5	R\$ 410,00	R\$ 4.305,00
Transporte de material bota-fora	m <sup>3</sup>	52,6	R\$ 7,00	R\$ 368,20
<b>Sub-Total:</b>				<b>R\$ 8.337,30</b>
<b>Total Geral:</b>				<b>R\$ 12.277,30</b>
<b>Custo/m<sup>2</sup></b>				<b>R\$ 87,69</b>

Fonte: Santos et. al. (2019).

**Tabela 2:** Análise de Custo para Implantação de pavimentos com asfalto comum.

<b>Materiais:</b>	<b>Unid.</b>	<b>Quant.</b>	<b>Preço Unit.</b>	<b>Preço Total</b>
Asfalto usinado a quente	m <sup>3</sup>	8,7	R\$ 250,00	R\$ 2.175,00
Tubos e conexões para drenagem				R\$ 1.500,00
<b>Sub-Total:</b>				<b>R\$ 3.675,00</b>
<b>Mão de obra:</b>				
Escavação	m <sup>3</sup>	13,2	R\$ 6,00	R\$ 79,20
Preparação do solo	m <sup>2</sup>	15,8	R\$ 35,00	R\$ 553,00
Assentamento de asfalto usinado a quente	m <sup>3</sup>	7,3	R\$ 410,00	R\$ 2.993,00
Transporte de material bota-fora	m <sup>3</sup>	13,2	R\$ 7,00	R\$ 92,40
Instalação de rede de drenagem				R\$ 2.000,00
<b>Sub-Total:</b>				<b>R\$ 5.717,60</b>
<b>Total Geral:</b>				<b>R\$ 9.392,60</b>
<b>Custo/m<sup>2</sup></b>				<b>R\$ 67,09</b>

Fonte: Santos et. al. (2019).

Acioli (2005) também faz uma comparação (Tabela 3 e 4) com os custos da implementação de um pavimento permeável e do pavimento com asfalto comum. Os valores de material corresponderam aos gastos na época da construção; e os valores de mão de obra foram fornecidos pela SMOV/PMPA.

Como Acioli (2005) e nem Santos (2019) não usaram práticas de manutenção do pavimento, os custos não foram levados em conta. Também não foram considerados os custos de reposição total, os quais estão ligados ao tempo de vida útil do revestimento utilizado.

**Tabela 3:** Análise de Custo para Implantação de pavimentos permeáveis com revestimento em asfalto poroso.

<b>Materiais:</b>	<b>Unid.</b>	<b>Quant.</b>	<b>Preço Unit.</b>	<b>Preço Total</b>
Brita graduada, diâmetro 1,5 cm	m <sup>3</sup>	39,5	R\$ 25,00	R\$ 987,00
Filtro geotêxtil	m <sup>2</sup>	289,5	R\$ 5,00	R\$ 1.447,59
Asfalto PMF, granulometria aberta	m <sup>3</sup>	10,1	R\$ 205,00	R\$ 2.077,30
<b>Sub-Total:</b>				<b>R\$ 4.511,89</b>
<b>Mão de obra:</b>				
Escavação	m <sup>3</sup>	52,6	R\$ 6,00	R\$ 315,84
Assentamento geotêxtil	m <sup>2</sup>	289,5	R\$ 4,00	R\$ 1.158,08
Assentamento de base em brita graduada	m <sup>3</sup>	39,5	R\$ 65,57	R\$ 2.588,69
Assentamento de asfalto	m <sup>3</sup>	10,1	R\$ 410,00	R\$ 4.154,60
Transporte de material bota-fora	m <sup>3</sup>	52,6	R\$ 7,00	R\$ 368,48
<b>Sub-Total:</b>				<b>R\$ 8.585,68</b>
<b>Total Geral:</b>				<b>R\$ 13.097,57</b>
<b>Custo/m<sup>2</sup></b>				<b>R\$ 99,53</b>

Fonte: Acioli (2005).

**Tabela 4:** Análise de Custo para Implantação de pavimentos com asfalto comum.

<b>Materiais:</b>	<b>Unid.</b>	<b>Quant.</b>	<b>Preço Unit.</b>	<b>Preço Total</b>
Asfalto usinado a quente	m <sup>3</sup>	8,7	R\$ 250,00	R\$ 2.176,30
Tubos e conexões para drenagem				R\$ 1.500,00
<b>Sub-Total:</b>				<b>R\$ 3.676,30</b>
<b>Mão de obra:</b>				
Escavação	m <sup>3</sup>	13,2	R\$ 6,00	R\$ 79,14
Preparação do solo	m <sup>2</sup>	15,8	R\$ 35,00	R\$ 553,97
Assentamento de asfalto usinado a quente	m <sup>3</sup>	7,3	R\$ 410,00	R\$ 2.974,28
Transporte de material bota-fora	m <sup>3</sup>	13,2	R\$ 7,00	R\$ 92,33
Instalação de rede de drenagem				R\$ 2.000,00
<b>Sub-Total:</b>				<b>R\$ 5.699,71</b>
<b>Total Geral:</b>				<b>R\$ 9.970,86</b>
<b>Custo/m<sup>2</sup></b>				<b>R\$ 75,60</b>

Fonte: Acioli (2005).

Comparando as Tabelas 1 e 2, observa-se que o valor do pavimento permeável possui um custo aproximado de 23,5% superior ao pavimento convencional. Já para Acioli (2005) a comparação das tabelas 3 e 4 mostra que um pavimento permeável (asfalto poroso) chega a ser 32% superior ao pavimento convencional (asfalto comum). Essa diferença se deve ao maior peso no custo unitário total, do reservatório de britas, no caso do pavimento permeável. E com esse levantamento foi comprovado que ao passar dos anos fica mais barato a implementação do pavimento permeável.

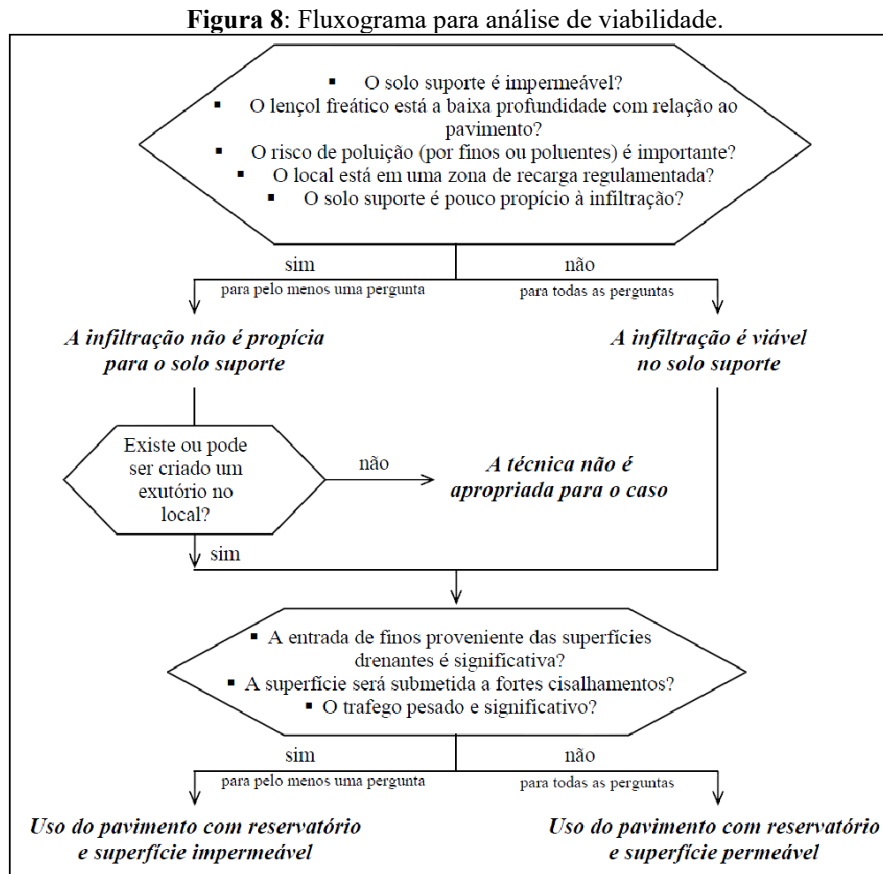
Depois de verificar as vantagens, desvantagens e custo do pavimento permeável, devesse verificar se é viável a implementação do mesmo atendendo os pré-requisitos que Acioli (2005) sugere.

## ANÁLISE DE VIABILIDADE

Segundo Acioli (2005), antes da aplicação do pavimento poroso é necessário observar:

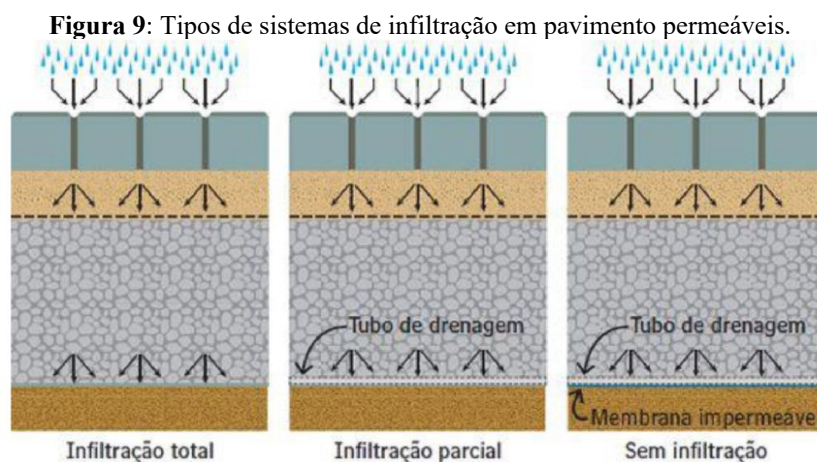
- Características do local de implantação: área a serem drenadas, existência de vegetação, topografia, existência de redes de água e esgoto, o tráfego ao qual será submetido, dentre outros;
- Características do solo subjacente: capacidade/comportamento de carga, taxa de infiltração;
- Estudos hidrogeológicos: Identificará as características do lençol freático, como flutuações sazonais, cota do lençol, vulnerabilidade e propriedades qualitativas;
- Estudos hidrológicos: vazão máxima permitida, características pluviométricas, áreas de armazenamento d'água, localização do exultório, coeficiente de escoamento.

Azzout el at (1994) criou um fluxograma (Figura 8) posteriormente foi adaptado por Acioli (2005) para mostrar quais são os principais requisitos que devem ser observados para determinar a melhor opção do pavimento permeável a cada tipo de situação. Tais requisitos se referem principalmente às condições do solo subjacente, ao lençol freático local e à carga de finos e poluentes que serão levadas para o pavimento.




Fonte: Azzout el at, 1994 apud Acioli (2005).

Para Fernandes (2020), para evitar risco de contaminação d'água, dependendo do solo ou do projeto, escolhe-se o sistema de infiltração, total, parcial ou sem infiltração (Figura 9).



Fonte: Fernandes (2020).



As estruturas de infiltração podem trabalhar tanto na redução das vazões máximas, funcionando como reservatórios de amortecimento, quanto na redução dos volumes escoados, através da infiltração das águas drenadas, podendo desempenhar também um importante papel na remoção e controle de poluentes do escoamento superficial. São, portanto, estruturas que recuperam de detenção e retenção, que apenas efetuam função de amortecimento. (Acioli, 2005)

De maneira simplificada, o sistema de infiltração total, como o nome diz, a água de chuva infiltra totalmente no solo. O reservatório de pedra deve ser grande o suficiente para absorver o volume da chuva total. Já o sistema de infiltração parcial, uma parcela dessa água infiltra no solo e a outra é coletada em um sistema de drenagem auxiliar. Geralmente esse sistema é usado quando o solo não possui uma boa taxa de infiltração.

Outro fato importante foi o estudo realizado por Becker e Pinheiro (2019) sobre o grande potencial na melhoria da qualidade da água filtrada pelo pavimento permeável. No estudo, foi verificado que o pavimento permeável tem eficiência de redução de poluentes do escoamento superficial superior a 70% para os sólidos suspensos, remoção de metais pesados teve eficiência de mais de 90%, mas não atendia a resolução que especifica o padrão para o consumo da água.

## CONCLUSÃO

As vantagens do pavimento permeável são inúmeras, desde a infiltração da água, evitando seu percolado nas vias e acumulando detritos e outras impurezas, evitando a aquaplanagem e filtrando a água, viabilizando seu uso em outras aplicações.

O asfalto por ser um ligante impermeável e por captar 100% de energia térmica do sol, acaba por interferir no microclima urbano pela emissão do calor absorvido. Já o pavimento permeável por ter vários espaços vazios em sua estrutura permite a circulação de ar, fazendo com que o pavimento não supraqueça e nem cause desconforto térmico.

Outra vantagem do pavimento permeável é sua capacidade de filtrar impurezas na água. Como sua absorção é 100%, a água não percola grandes quantidades filtrando o acumulado de detritos, reduzindo uma boa parte de poluentes que seriam acumulados pela percolação caso fosse um pavimento asfáltico convencional. Mesmo com sua eficiência, o pavimento permeável não filtra a água para consumo humano, tendo apenas a recomendação de sua reutilização em áreas rurais, na irrigação e/ou limpeza das vias através do serviço oferecido pelo governo.

O pavimento permeável não pode ser usado em qualquer lugar. Como o pavimento infiltra 100% da água, se essa água estiver contaminada ela pode acabar sendo despejada em um lençol freático, causando a perda daquele lençol. Regiões onde contém posto de gasolina,

lixões e indústrias deve ser evitado o uso do pavimento permeável para que o solo não seja contaminado com os detritos.

Outra informação relevante é que o pavimento permeável tem vários espaços vazios em sua estrutura assim, sua resistência é menor do que a do pavimento asfáltico e do pavimento de concreto que tem ambas as estruturas comprimidas, logo sua implantação deverá ser utilizado em ambientes menos agressivos, onde o tráfego de veículos pesados seja nulo. Ruas, calçadas, estacionamento, ciclovias e quadras de esportes são um excelente lugar para a utilização do pavimento permeável.

## REFERÊNCIAS

ACIOLI, L. A. **Estudo Experimental de Pavimentos Permeáveis Para o Controle do Escoamento Superficial na Fonte**. Orientador: André Luiz Lopes da Silveira. 2005. 162f. Dissertação (Mestrado) – Curso Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5843>. Acesso em: 7 set. 2021.

ALVES, P. B. **Concreto Permeável para Pavimentação Urbana com Uso de Resíduos de Construção e Demolição Produzidos na Usina de Reciclagem de São José do Rio Preto**. Orientador: Antonio Anderson da Silva Segantini. 2016. 90f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/138535>. Acesso em: 10 set. 2021.

BARRETT, M. E.; et al. Characterization of Highway Runoff in Austin, Texas, Area - **Journal of Environmental Engineering**, 124(2), 131-137, 1998.

BECKER, N.; PINHEIRO, I. G. Potencialidade dos Pavimentos Permeáveis na Melhoria da Qualidade da Água do Escoamento Superficial: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 11, e201800009. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.002.AO07>, 2019.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B.; Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros - Rio de Janeiro: **PETROBRAS: ABED A**, 2008.

CHANDRAPP, A. K.; BILIGIRI, K. P.; Comprehensive Investigation of Permeability Characteristics of Pervious Concrete: A Hydrodynamic Approach - **Construction and Building Materials**, 123, 627-637, 2016.

BETTES, R. Infiltration drainage-manual of good practice (R156). **Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) Report**, v. 156, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT - ES 031/2004**. Pavimento Flexíveis – Concreto Asfáltico - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2004.



DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT - ES 047/2004. Pavimento Rígido - Execução de Pavimento Rígido com Equipamento de Pequeno Porte - Especificação de Serviço.** Rio de Janeiro, 2004.

USEPA. Stormwater technology fact sheet: porous pavement. **Storm water Technology Fact Sheet, EPA, United States Environmental**, 1999. Office of Water Washington, D. C., 1999.

FERGUNSON, B. K. Porous Pavements - **Integrative Studies in Water Management and Land Development**, Taylor & Francis Group CRC Press, 2005

FERNANDES, G. S. Utilização de Pavimento Permeável de Concreto com Agregados de RCD na Mitigação de Alagamentos: Estudo de Caso do Estacionamento do Instituto Central de Ciências da UnB. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, **Universidade de Brasília**, 2020.

LUIZ, G. A.; SILVA, T. G.; ASSIS, R. C. T.; ROCHA, L. M.; PERES, S. M. **Estudo da Viabilidade Técnica do Uso do Asfalto Permeável como Alternativa de Prevenção de Enchentes Urbanas na Cidade de Três Rios.** - DOI: <https://doi.org/10.47879/ed.ep.2020144p82>, 2020.

MARCHIONI, M.; SILVA, O. C. Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas. São Paulo. **Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)**. 2010. 24p, 2010.

OKE, T.R. Boundary Layer Climates Second Edition - **Editora Routledge**, 1987.

PINTO, L. L. C. A. O Desempenho de Pavimentos Permeáveis Como Medida Mitigadora da Impermeabilização do Solo Urbano. Tese (Doutorado) - **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2011.

PIRES, R. A. G.; CALADO, J. C; FURTADO, D. B. S.; NETO, W. L. B. S; Viabilidade Técnica do Asfalto Permeável, Como Alternativa na Mitigação de Inundações, em Áreas Urbanas. **Simpósio Internacional de Gestão de Projetos**, Inovação e Sustentabilidade, Anais do VII SINGEP - São Paulo, 2018.


SANTOS, E. M. A et al. Análise da Viabilidade Econômica de Implantação de Pavimento Permeável Como Instrumento de Drenagem Urbana nas Vias Mais Alagadas do Município de Nova Xavantina - MT. - **Revista Interação Interdisciplinar** v, 03, n°. 02, p. 62-77, Jul - Dez., 2019 - UNIFIMES - Centro Universitário de Mineiros, 2019.

SANTOS JR, V. J.; SANTOS, C. O. A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações urbanas. **Estação Científica (UNIFAP)**, v. 3, n. 1, p. 19-30, 2014.

SILVA, F. G.; SIQUEIRA, M. C.; Avaliação Sobre a Eficiência do Uso de Pavimentos Permeáveis - **Faculdade Evangélica de Jaraguá**, Curso de Engenharia Civil, 2019.

SOUZA. M. J. Patologias em Pavimentos Flexíveis - Trabalho de Conclusão apresentado, **À Universidade Anhembi Morumbi**, São Paulo, 2004.

THOMLE, J. N. The Declining pH of Waters Exposed to Pervious Concrete - **Washington State University**, Department of Civil and Environmental Engineering, 2010.



TUCCI, C. E. M. Gestão de Águas Pluviais Urbanas. Gestão de Águas Pluviais Urbanas - **Ministério das Cidades** - Global Water Partnership - Wolrd Bank - Unesco, 2005.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, C. J.; Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: **Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, 2003.

# CAPÍTULO 13

## OTIMIZAÇÃO DE NANOFIBRAS DE POLI(FLUORETO DE VINILIDENO) OBTIDOS PELA TÉCNICA DE FIAÇÃO POR SOPRO EM SOLUÇÃO<sup>6</sup>

**Lincon Zadorosny**  
**Gabriel da Cruz Dias**  
**Alex Otávio Sanches**  
**José Aantônio Malmonge**  
**Mirian Cristina dos Santos**  
**Luiz Francisco Malmonge**

### RESUMO

A possibilidade de obtenção de novos compósitos como incorporação de condutores ou algumas cerâmicas, a partir da obtenção de nanofibras poliméricas, teve um aumento significativo nos últimos anos. Neste Trabalho nanofibras poliméricas de poli(fluoreto de vinilideno) – PVDF – foram produzidas pela técnica de Fiação por Sopro em Solução (FSS) a partir de soluções de PVDF/N,N, Dimetilformamida – DMF. Foram estudadas as influências da variação da concentração polimérica, distância de trabalho, taxa de alimentação e pressão do gás sobre a morfologia e diâmetro das nanoestruturas. Foram realizadas microscopia eletrônica de varredura (MEV), difratometria de raios x (DRX) e testes de tensão deformação das nanofibras obtidas. Os resultados evidenciam que o diâmetro médio das nanofibras é dependente da variação dos parâmetros experimentais, as imagens de MEV apontam que, dentre os parâmetros estudados, o que promoveu maior alteração morfológica das nanofibras foi a concentração polimérica, fator diretamente relacionado à viscosidade da solução. A variação dos demais parâmetros promoveu menores alterações tanto estruturais quanto morfológicas nos filmes nanofibrosos e ainda a difratometria de raios X indicaram a presença das fases cristalinas  $\alpha$  e  $\beta$ , sendo a fase  $\beta$  mais evidenciada, além disso Ensaio de tensão deformação mostraram que os filmes nanofibrosos apresentaram uma deformação até a ruptura de 72%, mesmo que pequeno os valores potencializam suas aplicações tecnológicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Nanofibras, PVDF, Fiação por Sopro em Solução.

### INTRODUÇÃO

A tecnologia de nanofibras poliméricas, tem recebido atenção, desde sua origem cada vez maior. Esse crescente interesse nos últimos anos se deve as suas propriedades, como elevada área superficial, isolamento térmico e acústico, capacidade de absorção de líquidos, porosidade,

---

<sup>6</sup> A CAPES processo CAPES. 88887136426/2017/00, ao CNPQ processo CNPq. 465571/2014-0 e agência FAPESPEP processo Processo FAPESP. 2014/50945-4, ambos pelo apoio financeiro à pesquisa. Ao programa de pós graduação em Ciências dos Materiais - PPGCM

além de apresentarem um desempenho mecânico superior a qualquer forma de material conhecido (HUANG Z et al. 2003).

Membranas poliméricas fibrosas com diâmetros na faixa de várias centenas de nanômetros são de grande interesse, tais como filtros (GIBSON et al. 2001), (GOPAL et al. 2006), (HUANG Z et al. 2003), (TRINDADE 2010), componentes de reforço em nanocompósitos, sensores óticos eletrônicos, matriz para a imobilização de catalisadores (COSTA, et al. 2012a), (FONG et al. 2002), (GIBSON et al. 2001), (GOPAL et al. 2006), (HUANG Z et al. 2003), (TRINDADE 2010), E principalmente por meio da busca pela longevidade na área médica como liberação controlada de fármacos e medicamentos, curativo para a regeneração da pele dentre outras (CALLEGARI, BELANGERO 2004), (CHEN et al. 2008), (COSTA, et al. 2012a), (COSTA et al. 2012b), (FONG et al. 2002), (KANANI, BRAHRAMIS 2010), (LIAO et al. 2006), (MARTINS et al. 2007), (SELL et al. 2007). A fiação por sopro em solução emprega os conceitos de eletrofiação e fiação convencional a partir do polímero fundido ou em solução, apresentando vantagens e sendo muito mais rápida que a eletrofiação, fatores que viabilizam a produção de nanofibras em escala comercial (DOSHI et al. 1995), (MEDEIROS et al. 2009), (MEDEIROS et al. 2010), (OLIVEIRA et al. 2011), (SUBBIAH et al. 2005).

Um dos polímeros usados com sucesso pela eletrofiação é o poli(fluoreto de vinilideno) – PVDF, que apresenta ótimas propriedades mecânicas e resistência química. Outra característica importante deste material é seu polimorfismo, podendo ser cristalizado em 4 distintas fases,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\delta$ , sendo  $\beta$  a de maior destaque, por apresentar atividades piro, piezo e ferroelétricas (LOVINGER, 1982), (SENCADAS, 2005)

No presente trabalho membranas fibrosas de PVDF, foram otimizadas, a partir da solução em DMF, em função da variação dos parâmetros experimentais, como. (1) taxa de alimentação, (2) distância de trabalho, (3) pressão e (4) concentração polimérica. Elas foram estudadas a partir da influência destes sobre a morfologia do material obtido.

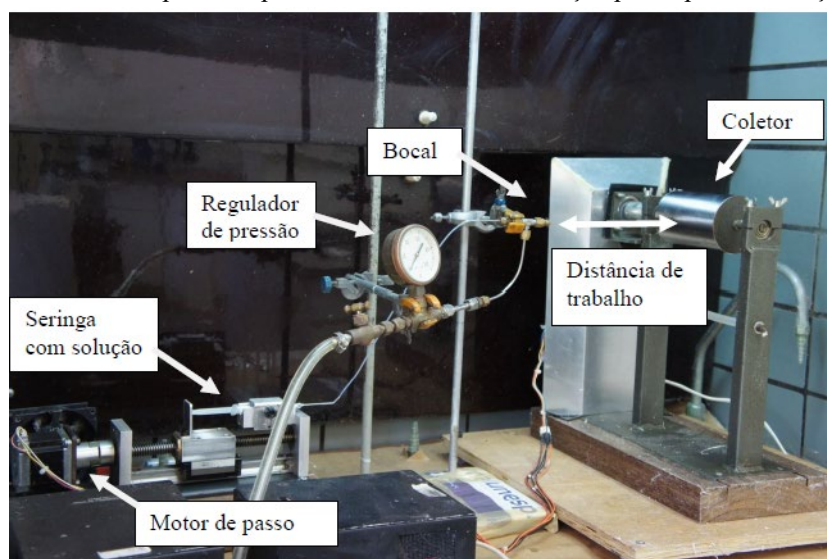
## MATERIAIS E MÉTODOS

O polímero utilizado foi o poli(fluoreto de vinilideno) – PVDF, comprado da Atofina do Brasil – SOLEF 1008 na forma de pó. Foi utilizado como solvente o N,N-Dimetilformamida – DMF fabricado pela LabSynth produtos para laboratório Ltda, ambos usados como recebidos.

As micro e nanofibras de PVDF foram obtidas utilizando-se a técnica de fiação por sopro em solução - FSS, a partir de soluções de PVDF/DMF, que foram preparadas pela

dissolução do PVDF em DMF a uma temperatura de 70° C sob agitação constante, e posterior resfriamento a temperatura ambiente.

**Figura 1:** Foto do aparato experimental da Técnica de Fiação por Sopros em Solução-FSS.



Fonte: Autoria própria, 2012.

No processo de produção das nanofibras pela técnica FSS, a solução de polímero é bombeada pelo bico interno até uma corrente de gás, oriundo do bico externo concêntrico, quando a corrente de gás de alta pressão ( $P_1$ ) sai do bocal externo, a pressão cai rapidamente ( $P_{atm}$ ), resultando, pelo princípio de Bernoulli, em um aumento na velocidade do gás. Esta maior velocidade promove uma queda na pressão no centro do jato ( $P_2$ ), criando uma força motriz que é responsável pela aceleração da solução polimérica.

Ela usa uma matriz de fiação composta por canais concêntricos com uma geometria que permite a produção de nanofibras de polímeros de modo análogo à eletrofiação. A principal diferença entre as duas é que na fiação por sopros a força motriz do processo é gerada pelo gás pressurizado, enquanto que na eletrofiação são usadas as forças elétricas.

A alta velocidade do gás também induz cisalhamento na interface gás/solução, que é responsável pela deformação da solução de polímero que sai do bocal interno em forma de cone. Quando a tensão de superfície é superada por estas forças, finos fluxos de solução polimérica são descartados na direção do coletor, neste percurso, o solvente evapora e os grãos são estirados pela força do gás pressurizado gerando as fibras que são depositadas no coletor, que se encontra em rotação a uma velocidade controlada (MEDEIROS et al. 2009).

Variáveis experimentais como. concentração da solução (c), taxa de injeção ( $\beta$ ), distância do bico ao coletor (D), pressão do gás (P) e velocidade do coletor ( $\omega$ ) são parâmetros que influenciam tanto a formação, como o diâmetro das fibras.

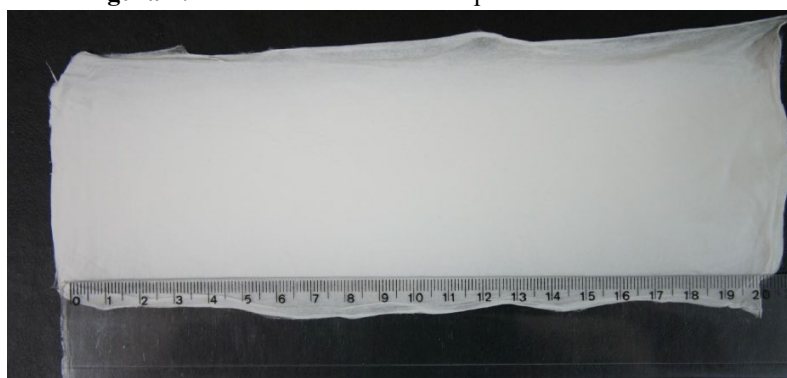
A concentração do polímero foi determinada pela porcentagem em massa do PVDF (g) no volume do solvente (mL). Foram estudados diferentes parâmetros na obtenção das amostras, apresentados na tabela 1 . Para esse experimento a rotação do coletor foi mantida em 400 rpm.

**Tabela 1:** Conjunto de experimentos realizados para estudar a influência dos parâmetros na formação das fibras pela técnica de FSS.


<i>Experimento</i>	<b>D (CM)</b>	<b>C (%)</b>	<b>B (<math>\mu</math>L/MIN)</b>	<b>P (KPA)</b>
1	15	30	76	140
2	18	30	76	140
3	21	30	76	140
4	24	30	76	140
5	21	30	38	140
6	21	30	19	140
7	21	30	76	180
8	21	30	76	100
9	21	25	76	140
10	21	25	38	140
11	21	25	19	140
12	21	25	76	180
13	21	25	76	100
14	21	20	76	140
15	21	20	38	140
16	21	20	19	140
17	21	20	76	180
18	21	20	76	100
19	21	15	76	180
20	21	15	38	180
21	21	15	19	180
22	21	15	76	140
23	21	15	76	100

Fonte: Autoria própria, 2012.

**Figura 2:** Filme nanofibroso obtido pela técnica de FSS.



Fonte: Autoria própria, 2012.



A morfologia dos filmes foi analisada utilizando um microscópio eletrônico de varredura – MEV, da marca Zeiss, modelo EVO LS15, operando com voltagem de 5,00 kV a 10,00 kV. Sobre as amostras foi depositada uma fina camada de ouro usando um Spoter Coater. O diâmetro médio das fibras nas micrografias foi calculado utilizando-se um programa gratuito<sup>61</sup> de análise de imagens, denominado *ImageJ 1.45*.

As medidas da viscosidade das soluções foram realizadas em um viscosímetro da marca BROOKFIELD, modelo DV – II + Pro, realizadas a temperatura ambiente (25 °C). Para cada concentração usamos uma rotação diferente que variaram de 2 a 25 rpm. A Difração de Raios X foram efetuadas utilizando um difratômetro de raios X da empresa Shimadzu, modelo XRD-6000, com radiação Cu - K $\alpha$  ( $\lambda=1,54$  Å) a uma faixa de varredura de 1°/min na faixa angular 2 $\theta$  de 5 a 40°. As amostras foram cortadas na forma de círculo, com aproximadamente 2 cm de diâmetro, e fixadas com massa de modelar sobre uma lâmina de vidro.

Os ensaios de tensão deformação foram realizados em um equipamento da marca Instron, modelo 3369, à temperatura ambiente, com uma velocidade de deformação de 13 mm/min em uma célula de carga de 500 N sob forma de gravata de acordo com o especificado nas normas ASTM D882. Foram ensaiados cinco corpos de prova mantidas a vácuo para o controle da umidade, por 24 horas, antes dos ensaios.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo de produção de nanofibras pelo método de FSS depende diretamente de uma série de parâmetros experimentais, como já citado anteriormente. Sendo assim, no presente tópico, serão discutidas as influências de alguns desses parâmetros, Ao centro de cada micrografia encontra-se a distribuição dos diâmetros das fibras bem como seus valores médios<sup>7</sup>.

### Efeito da distância de trabalho

Através das Fig. 3 e Fig.4 observa-se, em geral, a presença de fibras lisas, sem uma direção preferencial e em grande quantidade. Contudo, há a presença de uma menor quantidade de fibras compondo o filme, comparativamente às micrografias anteriores. Tal fato está relacionado à grande distância de trabalho (24 cm) empregada. Como a responsável pelo

---

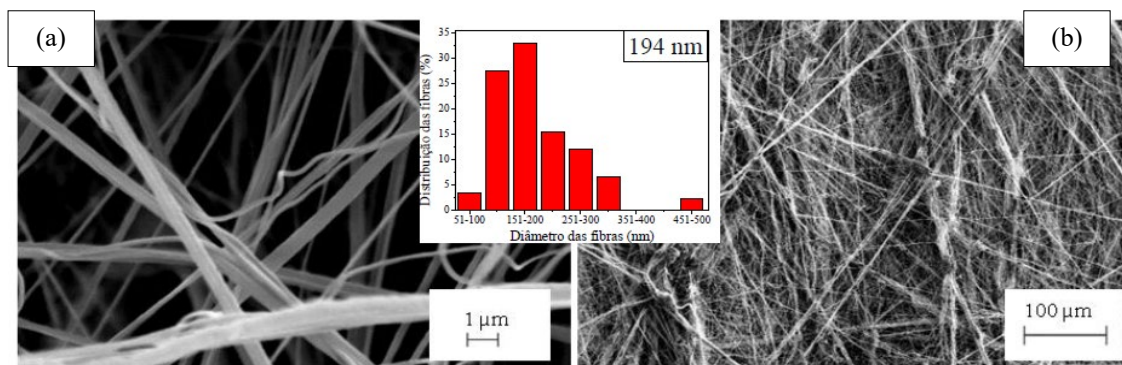
<sup>7</sup> Vale ressaltar que afim de não sobrecarregar o texto ou infringir as normas editoriais previstas, além de deixá-lo mais objetivo para o leitor, algumas imagens em MEV sobre a variação dos parâmetros experimentais bem como algumas infomações da obteção deste são devidamente apresentadas no material complementar.

transporte das fibras entre o bico e o coletor é exclusivamente a pressão do gás, esta perde intensidade ao longo de trajetos maiores. Como o coletor encontra-se em rotação (400rpm) gera-se na sua proximidade uma turbulência que a fibra não consegue superar sendo, portanto, desviada e, conseqüentemente, diminuindo a quantidade de fibras depositadas no coletor.

Verifica-se que a distância de trabalho não causa grandes alterações no diâmetro médio das fibras. Portanto, para tal parâmetro, devem-se apenas evitar pequenas distâncias entre o bico e coletor, pois o solvente não terá tempo hábil para evaporação, originando aglomerados de fibras ou um filme contínuo (MEDEIROS et al. 2009).

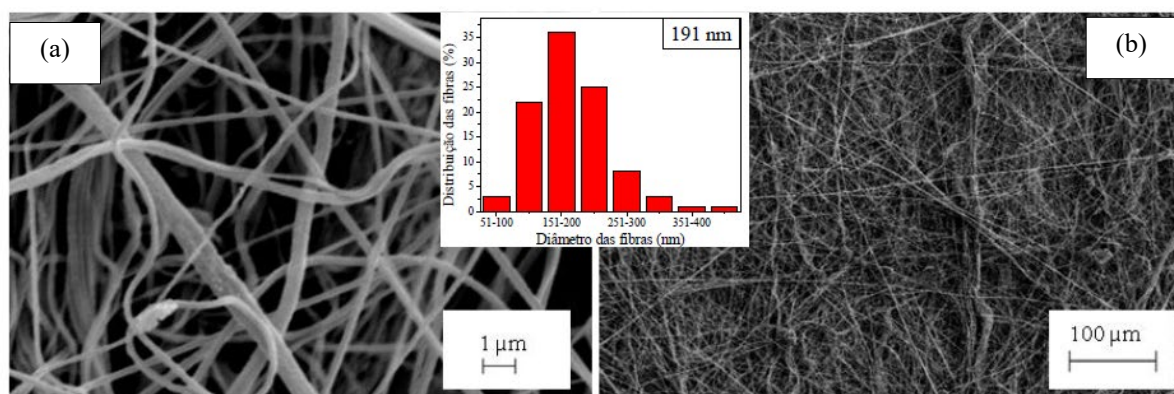
Por outro lado, como exemplificado, distâncias muito longas também não devem ser empregadas, pois a pressão diminui ao longo do caminho, não sendo forte o suficiente para vencer a turbulência próxima ao coletor. Tal comportamento condiz com os encontrados na literatura para eletrofiação, tanto no diâmetro das fibras quanto na sua morfologia (GOMES et al. 2007), (HARRISON et al. 2001).

**Figura 3:** Micrografias obtidas por MEV com ampliações de. (a) 15000 vezes e (b) 400 vezes, para  $D = 24$  cm, mantendo-se fixos os seguintes parâmetros.  $c = 30\%$ ,  $\beta = 76 \mu\text{L}/\text{min}$  e  $P = 140$  kPa.



Fonte: Autoria própria, 2012.

**Figura 4:** Micrografias obtidas por MEV com ampliações de. (a) 15000 vezes e (b) 400 vezes, para  $D = 18$  cm, mantendo-se fixos os seguintes parâmetros.  $c = 30\%$ ,  $\beta = 76 \mu\text{L}/\text{min}$  e  $P = 140$  kPa.



Fonte: Autoria própria, 2012.

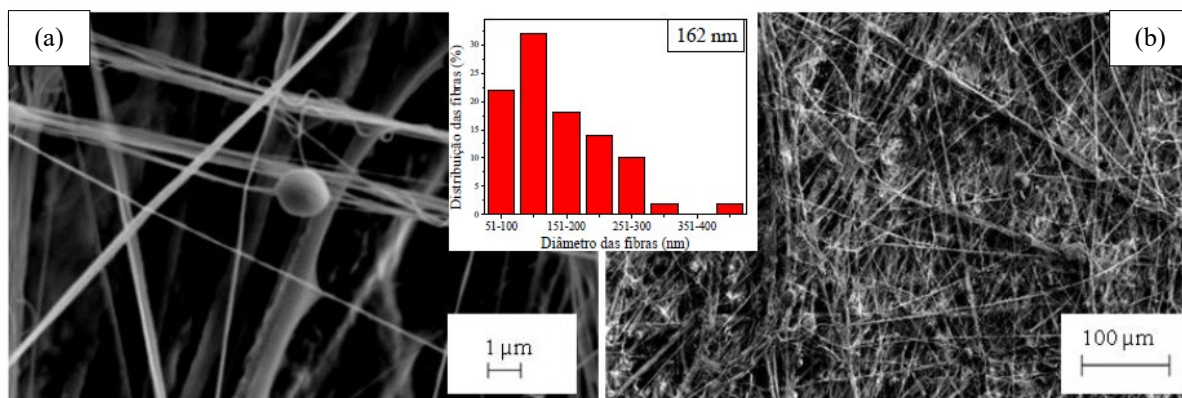


## Efeito da concentração polimérica

Para concentração de 15% de PVDF observa-se a presença de um filme com pouquíssimas fibras, indicando que para tal concentração a técnica apresentada não obteve êxito na formação das nanofibras. Tal fato se deve a baixa concentração de polímero na solução e, conseqüentemente, elevada quantidade de solvente, que durante o percurso não foi evaporado, acarretando na não formação de fibras e sim em um filme quase contínuo.

Com o aumento da concentração polimérica a formação das fibras é nítida, embora ocorra o aparecimento de gotas e contas (beads), causadas por instabilidades geradas nos jatos poliméricos durante o processo de fiação, que tendem a desaparecer para valores maiores de concentração de PVDF como ilustrado nas Fig.5-8. Tal desaparecimento decorre da completa evaporação do DMF para a concentração de 30% durante o trajeto bico-coletor, gerando fibras lisas e em maior quantidade.

**Figura 5:** Micrografias obtidas por MEV com ampliações de. (a) 15000 vezes e (b) 400 vezes, para  $c = 15\%$ , mantendo-se fixos os seguintes parâmetros.  $D = 21$  cm,  $\beta = 76$   $\mu\text{L}/\text{min}$  e  $P = 140$  kPa.



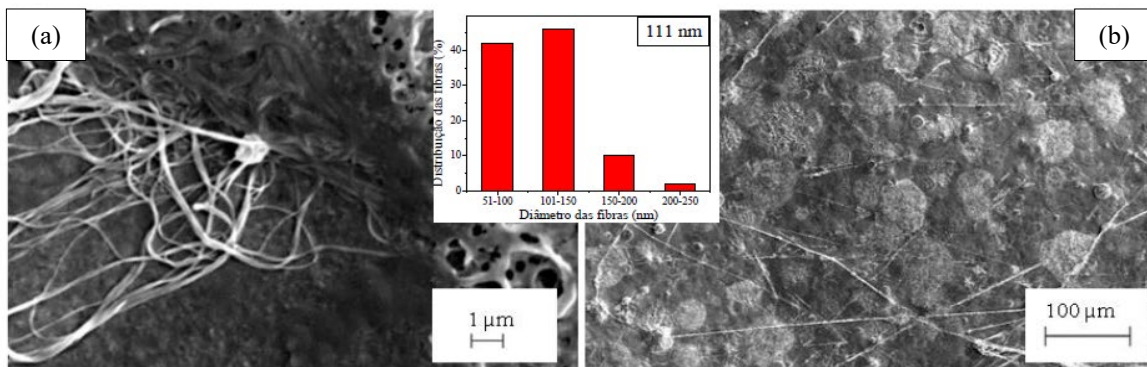
Fonte: Autoria própria, 2012.

Os experimentos realizados mostram que ao contrário da eletrofiação, onde as fibras são preparadas em concentrações baixas do polímero, por volta de 15% (m/v) de PVDF/DMF (ZHAO et al, 2005), ( COSTA et al. 2009), (COSTA et al. 2010), na técnica de FSS, pelo fato desta ser um processo muito mais rápido, tendo então menos tempo para evaporação do solvente, a concentração da solução deve ser mais elevada. Sendo assim, na presente pesquisa as concentrações estudadas foram na faixa de 15% a 30%, sendo a última, um valor limite, pois acima desta a solução se torna muito viscosa, entupindo a ponta do bocal de saída da solução.

Com relação ao diâmetro das nanofibras, nota-se um aumento dos mesmos com o acréscimo da concentração polimérica. Tal comportamento se deve a menor mobilidade das cadeias poliméricas com o aumento da viscosidade da solução

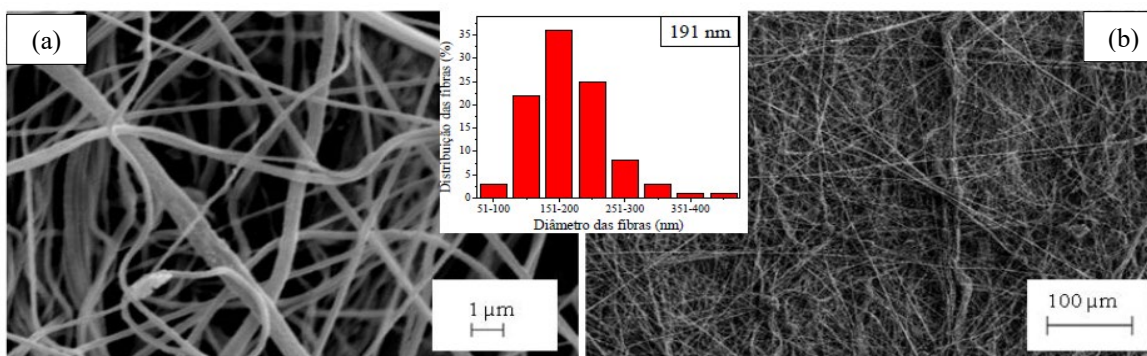
Como a força motriz no processo não se altera (mesma pressão), a menor mobilidade das cadeias leva a formação de fibras mais espessas, com diâmetro médio entre 111 a 191 nm. Este valor indica que além da presente técnica obter êxito na formação das fibras, estas ainda são finas, e dentro dos valores encontrados na literatura para as fibras de PVDF obtidas por eletrofiação, que apresentam diâmetros na faixa de 107 a 514 nm para as condições ideais de seus respectivos trabalhos (ZHAO et al, 2005), ( COSTA et al. 2009), (COSTA et al. 2010), (GASPARINI et al. 2012).

**Figura 6:** Micrografias obtidas por MEV com ampliações de. (a) 15000 vezes e (b) 400 vezes, para  $c = 20\%$ , mantendo-se fixos os seguintes parâmetros.  $D = 21$  cm,  $\beta = 76$   $\mu\text{L}/\text{min}$  e  $P = 140$  kPa.



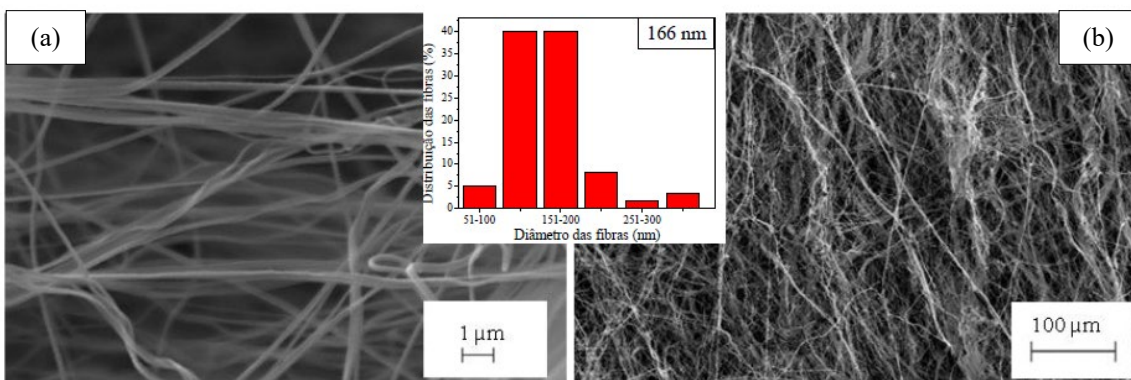
Fonte: Autoria própria, 2012.

**Figura 7:** Micrografias obtidas por MEV com ampliações de. (a) 15000 vezes e (b) 400 vezes, para  $c = 25\%$ , mantendo-se fixos os seguintes parâmetros.  $D = 21$  cm,  $\beta = 76$   $\mu\text{L}/\text{min}$  e  $P = 140$  kPa.



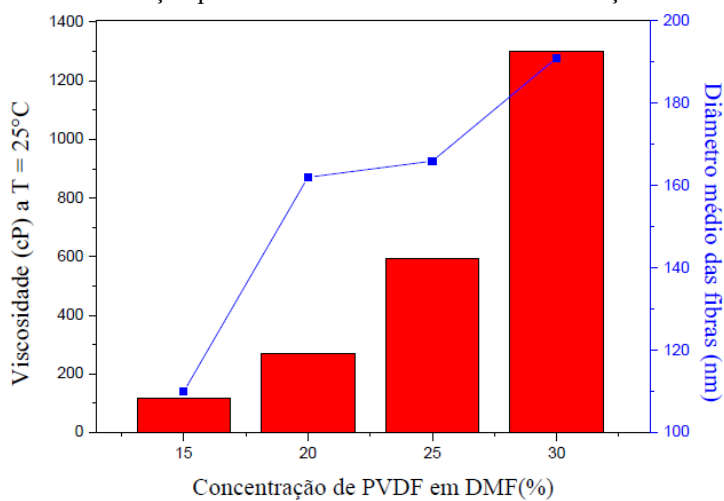
Fonte: Autoria própria, 2012.

**Figura 8:** Micrografias obtidas por MEV com ampliações de. (a) 15000 vezes e (b) 400 vezes, para  $c = 30\%$ , mantendo-se fixos os seguintes parâmetros.  $D = 21$  cm,  $\beta = 76$   $\mu\text{L}/\text{min}$  e  $P = 140$  kPa



Fonte: Autoria própria, 2012.

**Figura 9:** Efeito da concentração polimérica sobre a viscosidade da solução e diâmetro médio das fibras.



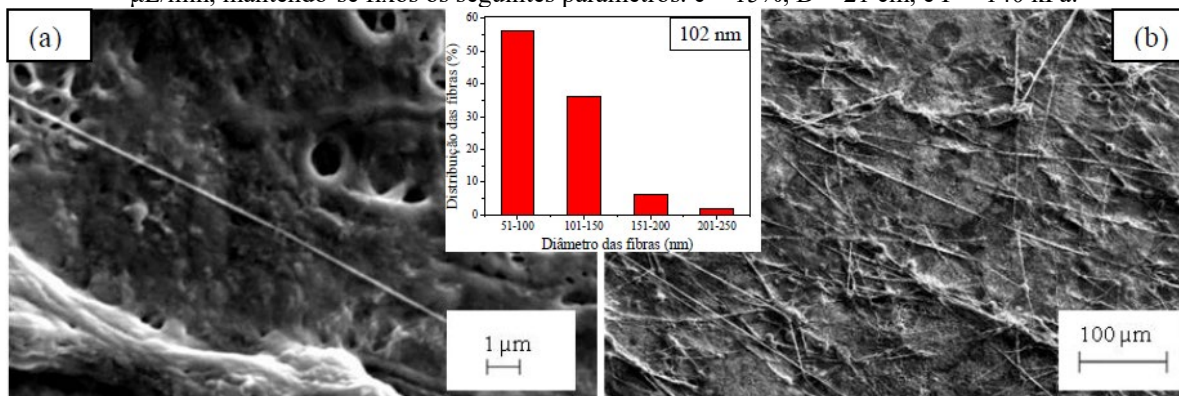
Fonte: Autoria própria, 2012.

### Efeito da taxa de alimentação da solução

Foi verificado uma diminuição da quantidade de fibras com o aumento da taxa de alimentação para a concentração de 20%, porém, ocorre a presença de um número maior de gotas e contas para taxas mais baixas. Tais resultados ocorrem, porque com a baixa viscosidade da concentração de 20%, toda a solução que chega ao bocal de saída é rapidamente arremessada pela pressão, porém a taxa de alimentação de 19  $\mu\text{L}/\text{min}$  não é suficiente para gerar o cone de Taylor criando instabilidades nos jatos poliméricos, dando origem as contas e gotas nos filmes

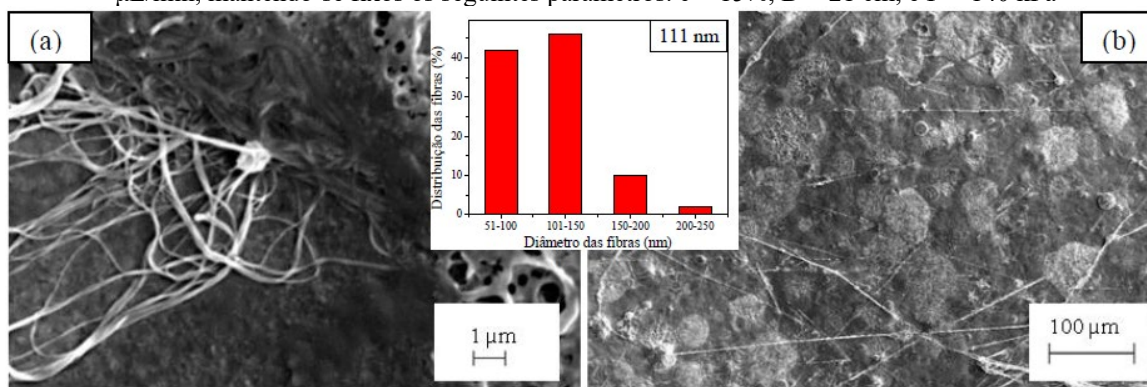
Contudo, a baixa vazão faz com que menos solução seja ejetada facilitando a evaporação do solvente e conseqüentemente aumentando a quantidade de fibras produzidas. Com o aumento da vazão, as instabilidades deixam de existir, diminuindo a quantidade de defeitos nas fibras, porém a maior quantidade de solução expelida pelo bico faz com que o solvente não seja evaporado por completo, o que dificulta a formação das fibras.

**Figura 10:** Micrografias obtidas por MEV com ampliações de. (a) 15000 vezes e (b) 400 vezes, para  $\beta = 19 \mu\text{L}/\text{min}$ , mantendo-se fixos os seguintes parâmetros.  $c = 15\%$ ,  $D = 21 \text{ cm}$ , e  $P = 140 \text{ kPa}$ .



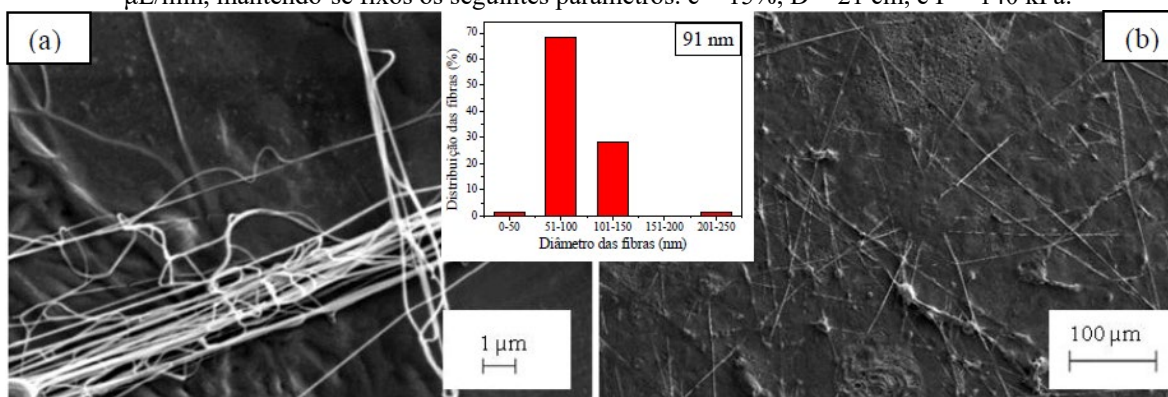
Fonte: Autoria própria, 2012.

**Figura 11:** Micrografias obtidas por MEV com ampliações de. (a) 15000 vezes e (b) 400 vezes, para  $\beta = 38$   $\mu\text{L}/\text{min}$ , mantendo-se fixos os seguintes parâmetros.  $c = 15\%$ ,  $D = 21$  cm, e  $P = 140$  kPa



Fonte: Autoria própria, 2012.

**Figura 12.** Micrografias obtidas por MEV com ampliações de. (a) 15000 vezes e (b) 400 vezes, para  $\beta = 76$   $\mu\text{L}/\text{min}$ , mantendo-se fixos os seguintes parâmetros.  $c = 15\%$ ,  $D = 21$  cm, e  $P = 140$  kPa.



Fonte: Autoria própria, 2012.

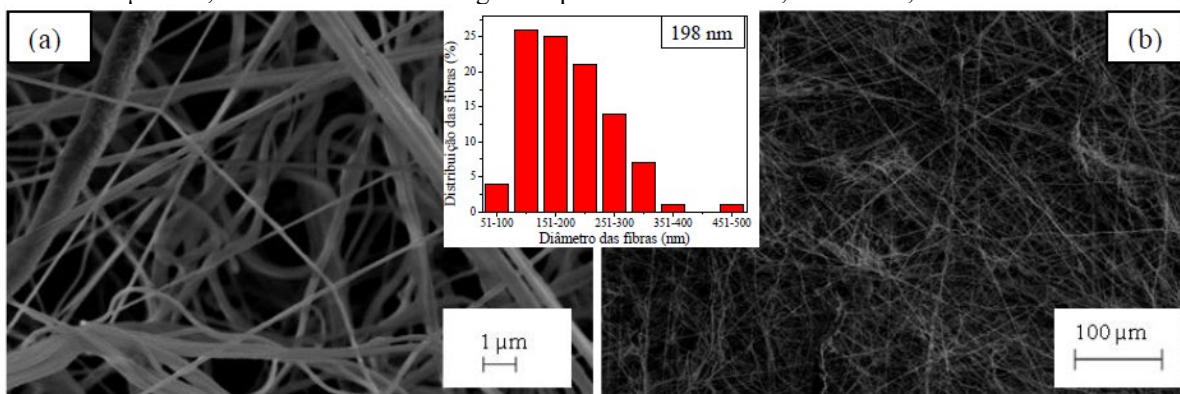
Ao contrário do comportamento apresentado pela concentração de 20%, nas concentrações de 25 e 30%, poucas fibras foram coletadas pelo cilindro quando usado à vazão de 19  $\mu\text{L}/\text{min}$ . Quando aumentamos para 38  $\mu\text{L}/\text{min}$  aumenta-se a quantidade de fibras, porém pode-se observar defeitos na morfologia na forma de caroços, estes problemas são minimizados com o aumento da taxa de alimentação para 76  $\mu\text{L}/\text{min}$ . Esta discrepância entre os resultados para os filmes na concentração de 20 e 25% se deve ao aumento da viscosidade, que dificulta a interação entre a gota na ponta do bico de saída e pressão, necessitando de maiores quantidades de solução para que esta seja arrastada em direção ao coletor.

Quando a taxa de alimentação é muito baixa, leva-se um tempo maior para que forme uma gota no bico que é arremessada antes que outra gota se forme, fazendo com que o jato de solução seja momentaneamente interrompido, sendo jogado como gotas em direção ao coletor, dificultando a formação das fibras. Este problema pode ser resolvido diminuindo-se a pressão, no entanto, se fizermos isso, estaremos eliminando uma das principais vantagens da fiação por sopro que é a rapidez na geração de fibras. Quando se eleva a vazão os jatos passam a ser

constantes, facilitando a geração das fibras e diminuindo os defeitos em sua morfologia (MEDEIROS et al. 2019).

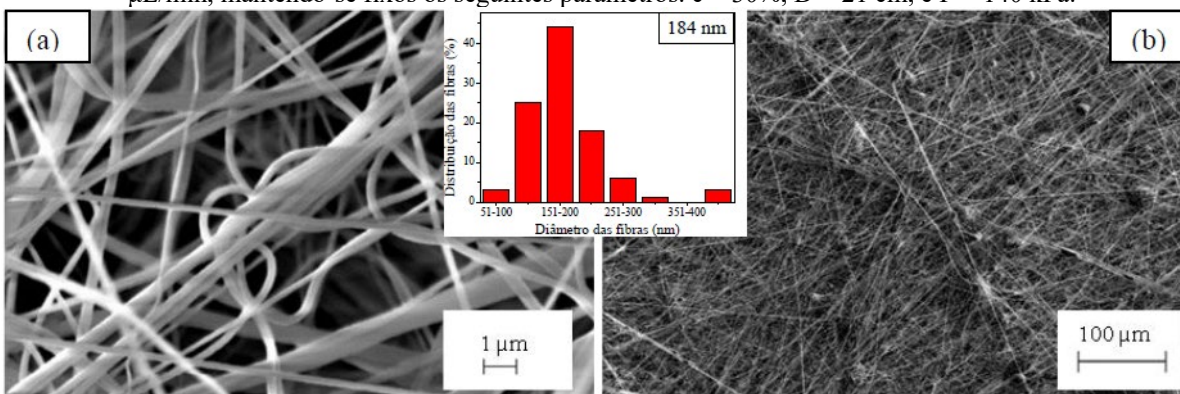
A pouca quantidade de solução nos jatos aumenta a sua interação com a pressão, além disso, ela faz com que o solvente seja mais rapidamente evaporado e assim o grão polimérico fique mais tempo sob o efeito da pressão. Tais fatores contribuem para a diminuição das espessuras, evidenciando o aumento do diâmetro médio das fibras com o acréscimo da taxa de alimentação. A distribuição dos diâmetros médios para cada é apresentado no material complementar.

**Figura 13:** Micrografias obtidas por MEV com ampliações de. (a) 15000 vezes e (b) 400 vezes, para  $\beta = 19$   $\mu\text{L}/\text{min}$ , mantendo-se fixos os seguintes parâmetros.  $c = 30\%$ ,  $D = 21$  cm, e  $P = 140$  kPa.



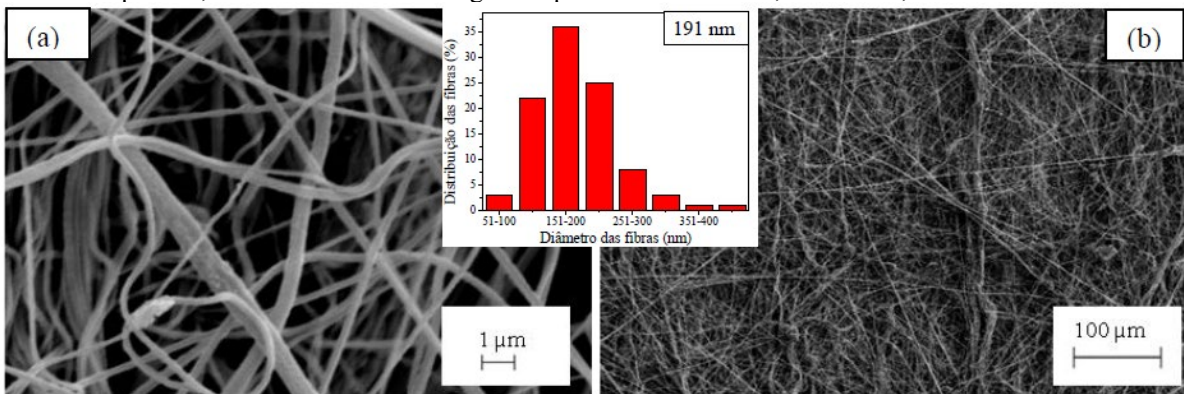
Fonte: Autoria própria, 2012.

**Figura 14:** Micrografias obtidas por MEV com ampliações de. (a) 15000 vezes e (b) 400 vezes, para  $\beta = 38$   $\mu\text{L}/\text{min}$ , mantendo-se fixos os seguintes parâmetros.  $c = 30\%$ ,  $D = 21$  cm, e  $P = 140$  kPa.



Fonte: Autoria própria, 2012.

**Figura 15:** Micrografias obtidas por MEV com ampliações de. (a) 15000 vezes e (b) 400 vezes, para  $\beta = 76 \mu\text{L}/\text{min}$ , mantendo-se fixos os seguintes parâmetros.  $c = 30\%$ ,  $D = 21 \text{ cm}$ , e  $P = 140 \text{ kPa}$ .



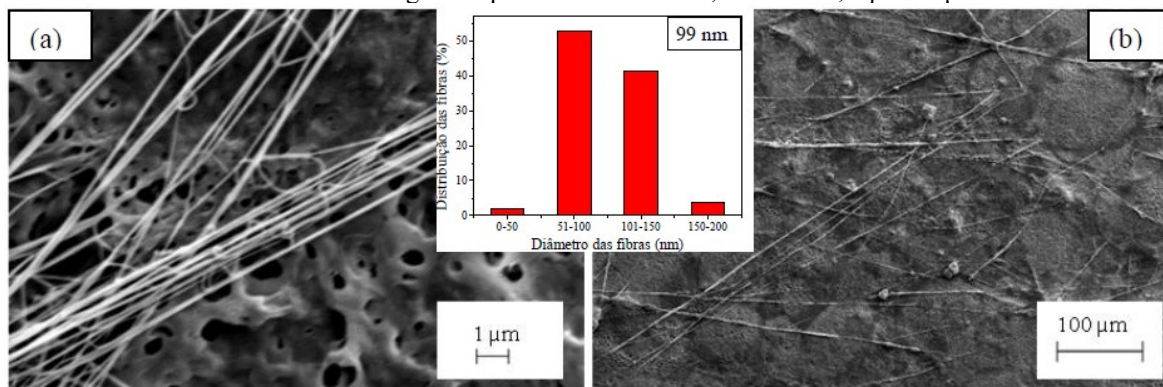
Fonte: Autoria própria, 2012.

### Efeito da variação de pressão

Podemos verificar pouca influência da pressão na formação das fibras. Contudo, para a pressão de 100 kPa, nota-se a presença de caroços escuros gerados pela solidificação dos grãos poliméricos em virtude da alta taxa de alimentação em relação a pressão, obstruindo constantemente a saída da solução. O aumento da pressão (140 kPa) ocasionou o não aparecimento destes defeitos, no entanto, para pressão de 180 kPa surgiram inúmeras gotas, causados pela alta pressão que carrega a solução mais rápido do que ela chega a ponta, ou seja, não formando um jato contínuo da solução.

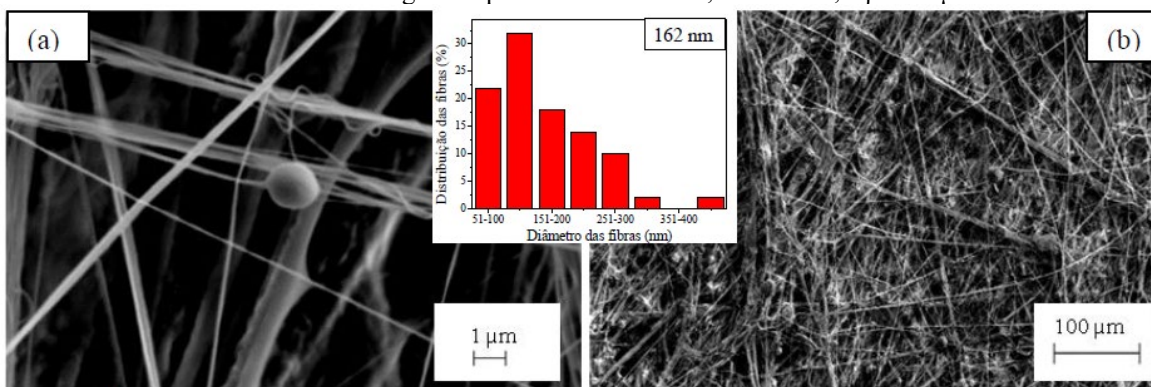
Tais resultados, aliados ao comportamento dos filmes produzidos com a variação na taxa de alimentação, para valores muito baixos, a pressão causava instabilidades nos jatos, e evidenciam uma relação entre o fluxo de solução e a pressão do gás, com a fabricação de filmes fibrosos via FSS (MEDEIROS et al. 2019), (OLIVEIRA et al. 2011).

**Figura 16:** Micrografias obtidas por MEV com ampliações de. (a) 15000x e (b) 400x, para  $P = 180 \text{ kPa}$ , mantendo-se fixos os seguintes parâmetros.  $c = 15\%$ ,  $D = 21 \text{ cm}$ , e  $\beta = 76 \mu\text{L}/\text{min}$ .



Fonte: Autoria própria, 2012.

**Figura 17:** Micrografias obtidas por MEV com ampliações de. (a) 15000x e (b) 400x, para  $P = 100$  kPa, mantendo-se fixos os seguintes parâmetros.  $c = 20\%$ ,  $D = 21$  cm, e  $\beta = 76$   $\mu\text{L}/\text{min}$ .

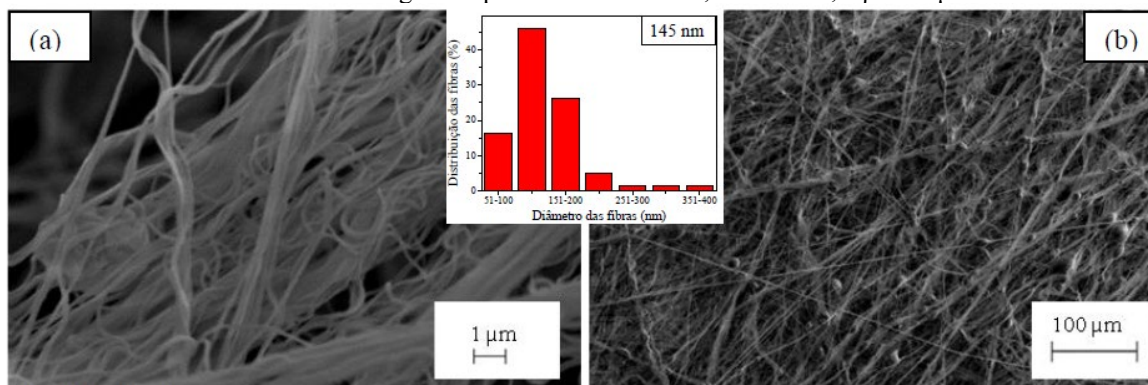


Fonte: Autoria própria, 2012.

O aumento da pressão tende a provocar um decréscimo nos diâmetros médios das nanofibras, visto que, quando a pressão é muito baixa o estiramento dos grãos não é intenso e as fibras formadas são mais espessas, já as pressões mais altas tem mais facilidade para esticar os grãos poliméricos diminuindo sua espessura.

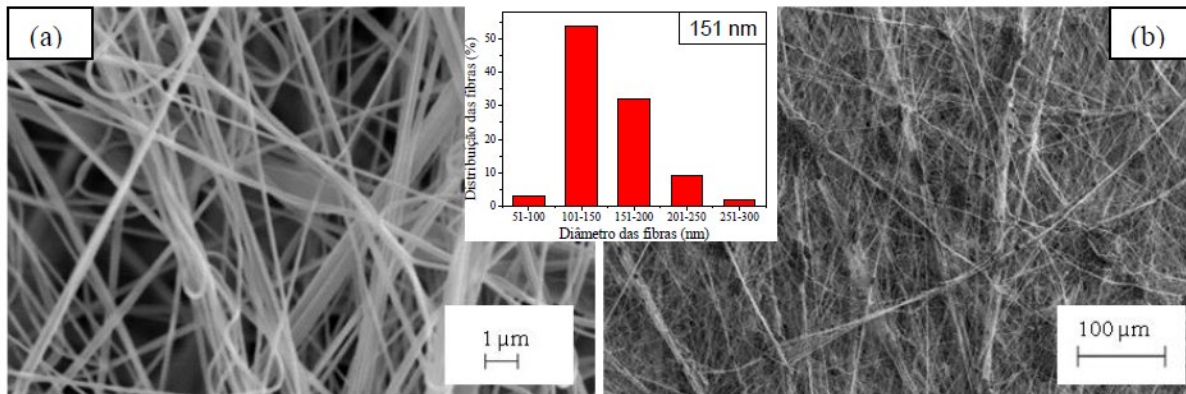
Da mesma forma que se observa uma relação entre vazão e pressão na técnica de FSS, também existe uma relação entre vazão e diferença de potencial na técnica de eletrofiação. O diâmetro das fibras não teve alteração significativa durante os intervalos de diferença de potencial aplicados, mas ele credita esses resultados as diferentes taxas de alimentação usadas. Segundo o autor, o diâmetro das fibras é um resultado da combinação entre a vazão e a força eletrostática, aumentando o campo, aumenta-se a força eletrostática e criam-se fibras de menores espessuras, porém, ele não controla a saída da solução, aumentando a diferença de potencial, maiores quantidades de solução são atraídas para fora do capilar, portanto, a combinação do aumento da voltagem com aumento da vazão fez com que os diâmetros não tivessem significativas mudanças (GU, et al. 2005).

**Figura 18:** Micrografias obtidas por MEV com ampliações de. (a) 15000x e (b) 400x, para  $P = 140$  kPa, mantendo-se fixos os seguintes parâmetros.  $c = 20\%$ ,  $D = 21$  cm, e  $\beta = 76$   $\mu\text{L}/\text{min}$ .



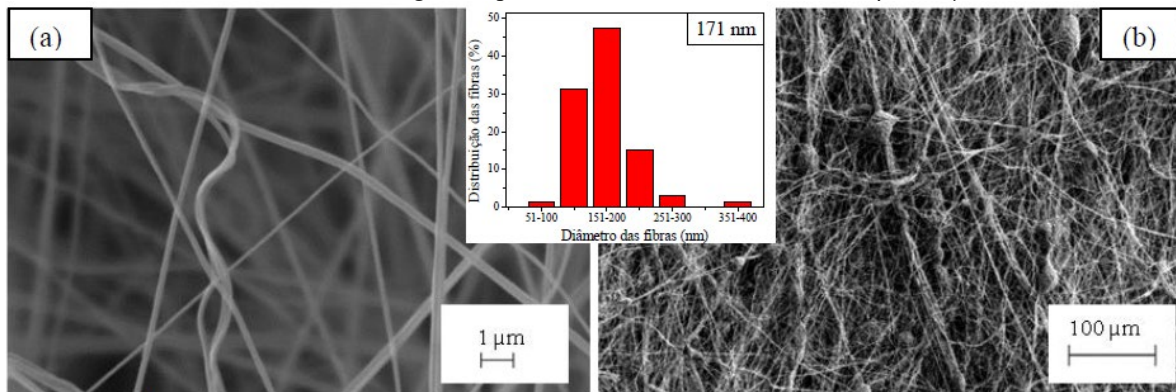
Fonte: Autoria própria, 2012.

**Figura 19:** Micrografias obtidas por MEV com ampliações de. (a) 15000x e (b) 400x, para  $P = 100$  kPa, mantendo-se fixos os seguintes parâmetros.  $c = 25\%$ ,  $D = 21$  cm, e  $\beta = 76$   $\mu\text{L}/\text{min}$ .



Fonte: Autoria própria, 2012.

**Figura 20:** Micrografias obtidas por MEV com ampliações de. (a) 15000x e (b) 400x, para  $P = 180$  kPa, mantendo-se fixos os seguintes parâmetros.  $c = 30\%$ ,  $D = 21$  cm, e  $\beta = 76$   $\mu\text{L}/\text{min}$ .



Fonte: Autoria própria, 2012.

Visto que o parâmetro com maior influência na formação dos filmes nanofibrosos foi a concentração de polímeros, apresentamos as medidas de raio X na Fig. 21 para estudarmos sua influência sobre a formação das fases cristalinas do PVDF. Nota-se a presença, para todas as concentrações, de um pico mais intenso em  $2\theta = 20,8^\circ$  relativos aos planos (110) e (200) característico da fase cristalina  $\beta$  polar.

Para as concentrações mais elevadas (25% e principalmente 30%), observa-se o surgimento de um pequeno pico em  $2\theta = 36,4^\circ$  referente ao plano (001), representando a mesma fase cristalina (JUNJIE et al. 2008), (ZULFIQAR et al.1994). São observados também nos difratogramas um ombro em torno de  $2\theta = 18,8^\circ$  referente ao plano (020) característico da fase apolar  $\alpha$  ( GREGÓRIO 1993), (GREGÓRIO, BORGES, 2008).

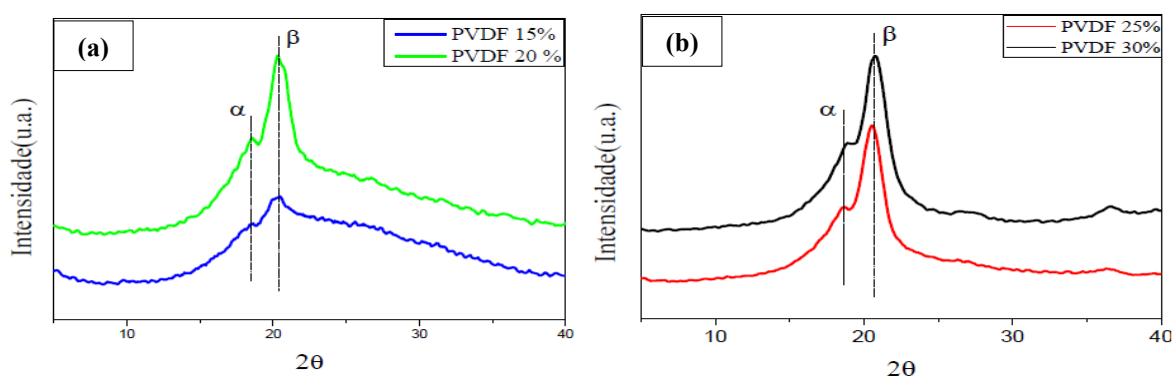
A formação da fase cristalina  $\beta$  por esta técnica pode estar relacionada ao estiramento sofrido pelo grão polimérico durante o processo de fabricação das amostras. O PVDF –  $\alpha$  é obtido a partir da solução em DMF sob altas taxas de evaporação do solvente, fato que pode



ocorrer na FSS, pois como todo o solvente tem que evaporar no caminho entre o bico e o coletor, este processo deve ser bem rápido, formando grãos poliméricos na fase  $\alpha$ . Esses grãos sob o efeito da alta pressão são estirados para formar as fibras, alterando neste processo a conformação de suas cadeias, induzindo a transição de fase  $\alpha \rightarrow \beta$ .

Em relação ao limite de resistência a tração o módulo de elasticidade obtido para as fibras é muito baixo, cerca de 5,12 MPa (PVDF fibra). Este comportamento era esperado e está relacionado ao fato de que a maior parte da carga aplicada aos filmes nanofibrosos é empregada para alinhamento e conformação das nanofibras ao longo da direção axial de tração. Este fenômeno foi observado por Costa em seu trabalho com a fabricação de nanofibras de PVDF via eletrofiação (COSTA et al. 2009).

**Figura 21:** Difratometria de raios X, para as amostras preparadas com diferentes concentrações.

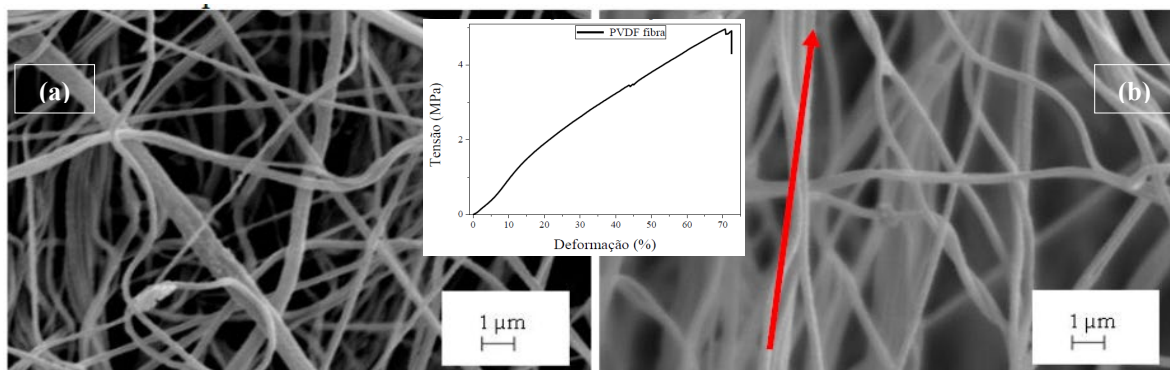


Fonte: Autoria própria, 2012.

Tal comportamento permite uma maior alongação dos filmes, mas conseqüentemente um menor módulo de elasticidade, uma vez que, estas não tendem a retornar a sua conformação inicial pré-tracionamento.

A Fig. 22 ainda apresenta o alinhamento gradativo das nanofibras. Por meio das imagens de MEV, podemos notar uma tendência de direcionamento das nanofibras para a região superior da página segundo a direção da tração empregada, como também, uma maior condensação das nanofibras advindas do processo de tração e empescoamento do corpo de prova. Os valores obtidos nos ensaios de tensão deformação, para os filmes nanofibrosos, são similares aos obtidos no trabalho de Haining e colaboradores (HUINING et al. 2008) para as membranas de PVDF produzidas por eletrofiação.

**Figura 22:** Microscopia em MEV das fibras (a) antes da tração e (b) após a tração, com ampliação e 15000 vezes. A seta representa o sentido de alinhamento das fibras. Em destaque a tensão pela deformação para os filmes nanofibrosos.



Fonte: Autoria própria, 2012.

**Tabela 2:** Diâmetro médio das fibras de PVDF obtidas pela técnica de Fiação por Sopros em Solução.

Taxa de alimentação (μL/min)	Pressão do ar (kPa)	Concentração (%)	Distância de trabalho (cm)	Diâmetro médio (nm)
76	140	30	15	180
76	140	30	18	195
76	140	30	21	191
76	140	30	24	194
76	140	15	21	111
76	140	20	21	162
76	140	25	21	166
76	140	30	21	191
19	140	15	21	91
38	140	15	21	102
76	140	15	21	111
19	140	20	21	120
38	140	20	21	147
76	140	20	21	162
19	140	25	21	156
38	140	25	21	171
76	140	25	21	166
19	140	30	21	198
38	140	30	21	184
76	140	30	21	191
76	100	15	21	103
76	140	15	21	111
76	180	15	21	99
76	100	20	21	145
76	140	20	21	162
76	180	20	21	132
76	100	25	21	151
76	140	25	21	166
76	180	25	21	136
76	100	30	21	245
76	140	30	21	191
76	180	30	21	171

Fonte: Autoria própria, 2012.

## CONCLUSÕES

Filmes nanofibrosos de PVDF foram produzidos com êxito utilizando a técnica de fiação por sopro em solução - FSS a partir de soluções de PVDF/DMF. A morfologia dos filmes revelou ser fortemente dependente das condições experimentais. Dentre os vários parâmetros experimentais estudados, o que apresentou maior influência sobre a morfologia e diâmetro das fibras foi a concentração polimérica. Análises de MEV constataram que a baixa concentração de polímero praticamente não produz fibras, decorrente da elevada quantidade de solvente que não é evaporada durante o percurso. Com o aumento da concentração polimérica as nanofibras são formadas e tornam-se mais homogêneas e mais espessas com diâmetro médio entre 111 e 191nm. Os demais parâmetros experimentais tiveram menores contribuições.


Com base nos resultados, concluímos que as melhores condições de obtenção das nanofibras foram para uma concentração da solução de 30%, taxa de alimentação de 76  $\mu\text{L}/\text{min}$ , uma pressão de 140 kPa e a distância de trabalho de 21 cm. Visto que para tais parâmetros, as fibras apresentam diâmetros homogêneos, são lisas e praticamente livres de defeitos estruturais devido à evaporação total do solvente (DMF) durante os experimentos.

Os resultados de ensaio de tensão deformação indicaram que o filme obtido pela FSS apresentou uma deformação até a ruptura de 72%. A difratometria de raio X indicaram a presença das fases cristalinas  $\alpha$  e  $\beta$ , sendo a fase  $\beta$  mais evidenciada e com melhores proveitos tecnológicos, potencializando a aplicação do mesmo.

## REFERÊNCIAS

- CALLEGARI B.; BELANGERO W. D. Acta Ortopédica Brasileira, v. 12, n.3, pp.160-166. jul./set. 2004.
- CHEN G, J-P; CHANG, G.-Y; CHEN J-K.. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. v. 313, n.1, pp.183-188. Feb. 2008
- COSTA L. M. M.; BRETAS R. E. S.; GREGÓRIO Jr R.. Materials Sciences and Applications, v. 1, pp.247-252 December, 2010.
- COSTA L. M. M.; BRETAS, R. E. S.; GREGORIO Jr. R. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 19. pp.1-7, 2009.
- COSTA R. G. F; OLIVEIRA J. E.; de PAULA G. F; PICCIANI, P.H. MEDEIROS, MATTOSO, L. H. C. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v.22, n. 2, pp.170-177. Maio 2012
- COSTA R. G. F.; OLIVEIRA J. E.; de PAULA G. F.; PICCIANI P. H. S.; MEDEIROS E. S.; MATTOSO L. H. C. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v.22, n2. pp.178-185, Maio, 2012.

- DOSHI, J.; RENEKER D. H. Journal of Electrostatic, v. 35, pp.151-160 1995.
- FONG H.; LIU W. D.; WANG, C. S.; VAIA R. A. Polymer. V.43, n.3, pp.775-780, feb. 2002.
- GASPARINI T. M.; BRETAS R. E. S.; SILVA A. B.; GREGORIO Jr R. Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics v. 50 pp.1304-1311. September 2012.
- GIBSON, P.; SCHREUDER-GIBSON H, RIVIN, D. Colloids and Surfaces A: Physic chemical and Engineering Aspects, v.187, n.1, pp.469-481, July 2001
- GOMES, D. S.; SILVA A.N.R.; MORIMOTO N. I. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 17, pp.206-211, june 2007.
- GOPAL, R.; KAUR, S.; MA, Z.; CHAN, C.; RAMAKRISHNA S; MATSUURA T. Journal of Membrane Science, v.281, pp.581-586, March 2006
- GREGORIO Jr. R.; BORGES, D. S. Polymer. v. 49, n.18, pp.4009-4016, july 2008.
- GREGÓRIO R. F. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v.3, n.2, pp.20-27, Abr/Jun 1993.
- GU S. Y.; REN J.; VANCOSO, G. J.; European Polymer Journal, 41, pp.2559-2568, November 2005.
- HARRISON, J. S.; OUNAIES Z. Piezoelectric Polymers. in ICASE NASA Report 1.26:211422 NASA/CR-2001-211422 ICASE-2001-43 Langley Research Center USA, 2001
- HUANG Z. M.; ZHANG Z. Y.; KOTAKI, M.; RAMAKRISHNA S. Composites Science and Technology, v.63, n.15, pp.2223-2253, april 2003.
- HUINING, N.; YUPING, Z.; CHENGUANG, Z.; ZHAO, C.; XIAOYAN, Y. Polymer Engineering and Science, v. 48, n.5, 5934-940, March 2008.
- JUNJIE, L.; QINGJIE, M.; WENJING. L.; ZHICHENG, Z. Journal of Applied Polymer Science, 122, pp.1659-1668, June, 2011.
- KANANI A. G.; BAHRAMI S. H. Trends in Biomaterials & Artificial Organs. v.4, n.2, pp.93-115. October, 2010
- LIAO S.; LI B.; MA W. WEI H, CHAN C., RAMAKISHNA S. Biomedic Materials, v.1, n.3, pp.45-53, July 2006.
- LOVINGER, A. J. "Poly(vinylidene fluoride)". In: BASSET, D. C. Developments in crystalline polymers. Springer Netherlands. 196-273, 1982
- MARTINS A.; ARAUJO J. V.; REIS R. L.; NEVES N. M.; Nanomedicine, v.2, n.6, pp.929-942, December 2007.
- MEDEIROS E. S.; GLENN G. M.; KLAMCZYNSKI, A. P.; ORTS W. J.; MATTOSO L. H.C, Journal of Applied Polymer Science, v. 113, n.4, pp.2322-2330. August. 2009.
- MEDEIROS E. S.; GLENN G. M, A. P, W. J. ORTS, MATTOSO L. H. C. Solution blow Spinning. US Patent, 0062.08. feb 2010



OLIVEIRA J. E.; MORAES E. A.; COSTA R. G. F.; AFONSO A. S.; MATTOSO L. H. C.; ORTS, W. J.; MEDEIROS, E.S. Journal of Applied Polymer Science, v. 112, n.5, pp.3396-3405. April, 2011

SELL S.; BARNES C.; SMITH M.; MCCLURE M.; MADURANTAKAM P.; GRANT J, MCMANUS M, BOWLIN, Polymer International, v.56, n.11, pp.1349-1360. September 2007

SENCADAS V. J. G. S, Influência das condições de processamento na morfologia e fases cristalinas do PVDF e nas transições de fase do copolímero P(VDF-TrFE). Tese de M.Sc. Universidade do Minho Escola de Engenharia 2005

SUBBIAH T.; BHAT G. S.; TOCK R. W.; PARAMESWARAN S.; RAMKUMAR S. S. Journal of Applied Polymer Science, v. 96, n.2. pp.557-569, feb. 2005

TRINDADE R. S. Caracterização de membranas poliméricas aplicadas ao processo de microfiltração. Diplomação. UFRGS. Rio Grande do Sul, Brasil. 2010

ZHAO Z., LI, J., YUAN X., LI X., ZHANG Y., SHENG J. Journal of Applied Polymer Science, v. 97, n. 2, pp.466-474, April 2005.

ZULFIQAR S.; ZULFIQAR M.; RIZVI M, MUNIR A. Polymer Degradation and Stability, v. 43, n.3, pp.423-430, September, 1994.

# CAPÍTULO 14

## BIOATIVIDADE DO ÓLEO ESSENCIAL EXTRAÍDO DA ESPÉCIE *Protium Heptaphyllum* (Aubl.) Marchand

Gabriel Nunes dos Santos  
Kethlin de Carvalho Santos Romão  
Khetrin Silva Maciel  
Tácia Costa Veloso

### RESUMO

Óleos essenciais ou voláteis são misturas complexas de substâncias voláteis que possuem como características básicas, o cheiro e o sabor. São elementos fundamentais na composição de fármacos, cosméticos e alimentos, portanto, possuem importância para estes setores industriais. O óleo essencial extraído da *Protium Heptaphyllum* (Aubl.) Marchand possui potencial bioativo já comprovado por estudos científicos, no entanto, reunir e destacar as informações mais relevantes é fundamental para se obter referências seguras a respeito de sua aplicação. Portanto, neste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica com foco na bioatividade do óleo essencial da *Protium Heptaphyllum* (Aubl.) Marchand. Os estudos associam diversas atividades biológicas aos óleos extraídos desta espécie, tais como antioxidante, cicatrizante, acaricida, anti-inflamatório e antifúngico.


**PALAVRAS-CHAVE:** Almécega; óleo essencial; *Protium Heptaphyllum*; óleo essencial de *Protium Heptaphyllum*.

### INTRODUÇÃO

O Brasil é um forte candidato a tornar-se um importante produtor/exportador de produtos naturais com atividades biológicas por ser um dos países com a maior diversidade vegetal existente. Estima-se que o Brasil possua milhares de plantas com potencial para originar produtos naturais, porém apenas pouco mais de mil destas espécies foram avaliadas em relação às suas propriedades bioativas (LUPE, 2007, p. 1).

Segundo a Organização Internacional de Padrões (ISO), óleos essenciais são misturas complexas de substâncias voláteis que são extraídos de plantas aromáticas e possuem como característica básica o cheiro e o sabor (FIGUEIREDO et al., 2014, p. 31). Óleos essenciais possuem interesse comercial para indústrias devido a sua utilidade, principalmente, na formulação de medicamentos e são incorporados também pelas indústrias cosméticas, alimentícias, de bebidas e perfumes (LEAL, 2008, p. 11).

A composição química do óleo essencial depende de vários fatores que, de forma simplificada podem ser agrupados em fisiológicos, ambientais, geográficos e genéticos. O tipo



de material vegetal (folhas, flores, caules ou raízes), bem como o estágio de desenvolvimento do órgão são dois fatores determinantes na composição do óleo (FIGUEIREDO et al., 2014, p. 32).

O óleo essencial obtido de *Protium Heptaphyllum* (Aubl.) Marchand tem recebido especial atenção em trabalhos acadêmicos devido à sua composição química e possibilidades de atividades biológicas. No entanto, observa-se que os óleos obtidos em diferentes localidades apresentam variações na composição química, o que, conseqüentemente, pode influenciar na sua bioatividade.

Dentro desse contexto, essa revisão tem como objetivo apresentar um levantamento bibliográfico sobre o tema óleo essencial, destacando as propriedades do óleo essencial extraído da *Protium Heptaphyllum* (Aubl.) Marchand.

## **METODOLOGIA**


A metodologia adotada para este estudo foi conduzida por pesquisas bibliográficas em periódicos, livros, artigos, sites e revistas científicas sendo buscadas pelas palavras chaves: *Protium Heptaphyllum*, óleo essencial, óleo essencial de *Protium Heptaphyllum*.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Óleo essencial**

Além do cheiro e sabor, os óleos essenciais possuem características como: aparência oleosa à temperatura ambiente; quando recentemente extraídos são geralmente incolores ou ligeiramente amarelados; não são muito estáveis, principalmente na presença de ar, calor, luz e umidade e a maioria possui índice de refração e são opticamente ativos (LUPE, 2007, p. 5). Em geral sua densidade é menor que a da água e são lipossolúveis, ou seja, diluem-se em gorduras (SILVA, 2006, p. 18).

Quimicamente, os óleos essenciais são constituídos basicamente por hidrogênio, carbono e oxigênio que dão origem a uma mistura de diversas moléculas orgânicas como: hidrocarbonetos, álcoois, ésteres, aldeídos, cetonas, fenóis e outras. Segundo Silva (2006, p. 19) a maioria dos óleos essenciais possuem como principal constituinte os terpenos, que são hidrocarbonetos produzidos pelo metabolismo secundário das plantas, sendo esse termo empregado para designar todas as substâncias que a origem biosintética deriva de unidades do isopreno.



Os isoprenos se ligam, e o número de unidades incorporadas em um determinado terpeno serve de base para classificação do composto originado, desta forma, temos monoterpenos formados por duas unidades de isopreno, sequiterpenos contendo três unidades de isopreno, os diterpenos com quatro unidades de isopreno, entre outras formações que podem ser cadeias abertas ou fechadas e suas diversidades estruturais resultam nas diferentes características observadas nos óleos (SILVA, 2006, p. 19).

As plantas tropicais contêm diversos metabólitos secundários que podem totalizar mais da metade do peso seco das mesmas. Uma das razões da origem e a manutenção destes compostos químicos são atribuídas ao desenvolvimento do mecanismo de defesa das plantas ao ataque de herbívoros, melhorando sua adaptação, dando à espécie a oportunidade de entrar em uma nova zona de adaptação e expandir sua distribuição ecológica e geográfica. Similarmente, os herbívoros especializados também se adaptam e podem contornar as defesas desenvolvidas pelas plantas. Esta coevolução é responsável pela grande diversidade de produtos naturais e impulsionam a diversificação de ambos, plantas e insetos (SALAZAR, 2018, p. 983).

De acordo com Silva (2006, p. 18), a composição dos óleos essenciais das plantas é determinada geneticamente podendo variar a depender da (o):

- Origem botânica (espécie);
- Quimiotipo (geografia);
- Ciclo vegetativo (época do ano);
- Fatores da natureza (clima, tipo de solo);
- Órgão da planta (flores, folhas, frutos, raízes, casca, resina, semente);
- Método de extração;

## IMPORTÂNCIA PARA INDÚSTRIA

Devido à utilização crescente nas indústrias de alimentos, cosméticos e farmacêutica, o cultivo de espécies aromáticas e a obtenção de óleos essenciais formam importantes atividades econômicas (SILVA, 2006, p. 25). Esses óleos estão ligados à indústria de alimentos devido a possibilidade de serem utilizados tanto como corretores do sabor e odor, quanto também como um aditivo que pode prolongar a validade dos produtos (antioxidante), melhorar na conservação e ainda trazer algum benefício à saúde. A utilização dos produtos naturais permite diminuir o uso de antioxidantes sintéticos e estes últimos têm sido afastados da indústria de alimentos devido aos potenciais efeitos colaterais (LEAL, 2008, p. 11).



Na indústria cosmética, esses óleos são utilizados em sabonetes, cremes e perfumes atuando na incrementação de cheiro e sabor. Lupe (2007, p. 9) afirma que, em particular no ramo da perfumaria, o uso de extratos e óleos essenciais vem desde a antiguidade e a autora ressalta que no Oriente Médio as plantas aromáticas já eram utilizadas na cozinha, em cosméticos, na medicina e em práticas religiosas, e que indústrias modernas de cosméticos estão buscando na sabedoria milenar da fitoterapia as receitas para hidratação da pele e cabelo.

A importância na indústria farmacêutica se dá devido a diversas atividades biológicas relatadas com alto valor terapêutico, as características odoríferas dos óleos essenciais fundamentam também sua utilização como corretivos de sabor e odor em medicamentos destinados a utilização por via oral ou como aromatizantes em medicamentos com aplicação sobre a pele (CAVALEIRO, 2007, p. 55). Apesar de ser um produto natural, não está descartada a possibilidade de ocorrência de compostos com elevada toxicidade, desta forma, os óleos essenciais são incorporados nas formulações medicamentosas normalmente em porcentagens inferiores a 5% (CAVELEIRO, 2007, p. 60).

Um problema para o desenvolvimento das indústrias produtoras de óleos essenciais é a grande concorrência com similares sintéticos. Estes últimos podem ser imitações dos naturais, porém de constituição química limitada em relação à diversidade de compostos encontrados nos naturais. Além disso, a baixa qualidade das matérias primas originadas nas regiões com demandas mais crescentes, como Amazônia e mata atlântica, aliada a fatores como suprimento inadequado, prazos e falta de controle de qualidade, prejudicam a competitividade destes novos mercados (SILVA, 2006, p. 25; LUPE, 2007, p. 10).

### ***Protium Heptaphyllum* (Aubl.) Marchand**

Pertencente à família *Burseraceae*, que compreende cerca de 16 gêneros e mais de 800 espécies, a *Protium Heptaphyllum* (Aubl.) Marchand é uma planta conhecida popularmente como: almécega, breu branco, elemi, árvore do incenso e pau de breu. Ocorrem em solos secos ou úmidos de textura arenosa, solos com presença de afloramento rochoso, pouco profundo e bem drenado, tolerando terrenos alagados (ARAUJO, 2012, P. 48). É comumente encontrada na região amazônica, em alguns estados do Nordeste do Brasil, como Bahia, Ceará e Piauí, em Minas Gerais, Goiás e ainda em alguns países da América do Sul como Colômbia, Venezuela e Paraguai (BANDEIRA et al., 2002, p. 1078; CITÓ et al., 2006, p. 4).

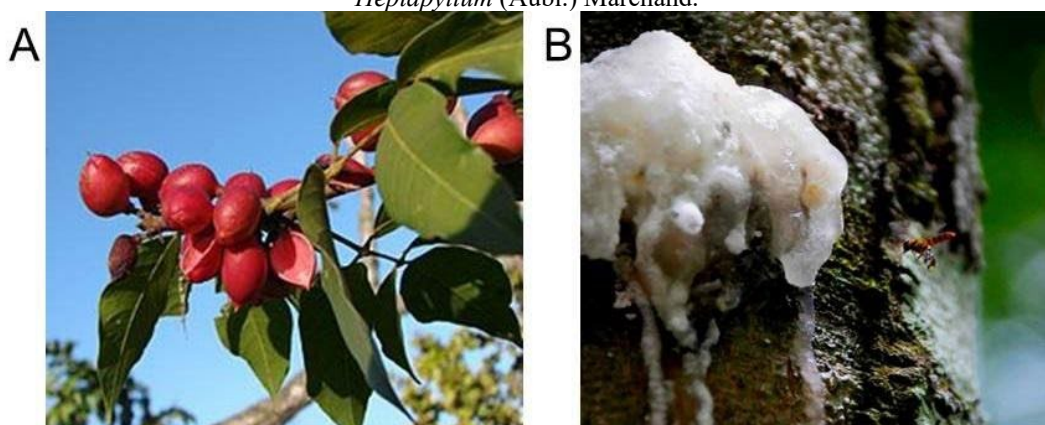
É uma árvore pequena (10 m de altura), com algumas espécies atingindo o topo das florestas, possui um tronco espesso com 50-60 cm de diâmetro na base, casca vermelha escura,

suas folhas são opostas, flores pequenas e seus frutos são drupas avermelhadas (Figura 1) contendo de 1 a 4 sementes (CITÓ et al., 2006, p. 4).

As espécies pertencentes ao gênero *Protium*, são conhecidas por produzirem um exsudato resinoso no Brasil conhecido como breu branco (Figura 1) que é expelido pela planta naturalmente após uma lesão no tronco, uma vez fora da planta, a composição da resina sofre alterações devido a oxidação, ocasionando em mudanças nas suas características físicas, de uma aparência suave e plástica a um material mais duro, quebradiço e viscoso (DA SILVA et al., 2013, p. 171).

Da Silva et al. (2013, p. 171) relata também que índios quilombolas no Pará utilizam a resina para tratar dores de cabeça por inalação e no processo de gessagem aliviando dores e inflamações. Outros relatos da medicina popular associam seu uso à ação anti-inflamatória, analgésica, expectorante e cicatrizante, tendo utilidades também na indústria de verniz e calafetagem de embarcações (BANDEIRA et al., 2002, p. 1078).

**Figura 1:** A – fruto de *Protium Heptaphyllum* (Aubl.) Marchand; B – exsudato resinoso de *Protium Heptaphyllum* (Aubl.) Marchand.



Fonte: Portal Embrapa, 2006.

### **BIOATIVIDADE DO ÓLEO ESSENCIAL DA *Protium Heptaphyllum* (Aubl.) Marchand**

A Tabela 1 sumariza estudos realizados que evidenciam a diferença nos compostos majoritários dos óleos obtidos em diferentes localidades e/ou partes da planta utilizada, bem como, comprovam aplicações do óleo essencial de *Protium Heptaphyllum* (Aubl.) Marchand, algumas já popularmente conhecidas.

**Tabela 1:** Revisão bibliográfica da bioatividade e dos principais constituintes do óleo essencial de *Protium Heptaphyllum* (Aubl.) Marchand.

Compostos majoritários	Região	Material	Aplicação	Referência
$\alpha$ -pineno (40%), p-mentha-1.4(8)-dieno (12%), $\alpha$ -phellandreno (10%)	Valença-BA	Folhas e caules	Gastroproteção (antioxidante e cicatrizante)	Araujo, (2012)
$\alpha$ -terpinoleno (32.7%), limoneno (22%), 3-careno (15%)	Guriri-ES	Resina	Contra lesões cutâneas	Bernardi et al. (2015)
limoneno (36.01%), p-cineole (18.68%), o-Cimeno (17.43%)	Timon-MA	Resina	Antifúngico ( <i>Candida</i> )	Mobin et al. (2016)
Terpinoleno (35.1%), p-Cimeno (26.66%), Tricicleno (11.05%), p-Cimeno-8-ol (10.12%)	Guriri-ES	Resina	Antibacteriana ( <i>Streptococcus mutans</i> )	Pinto et al. (2015)
$\alpha$ -terpineno (47.6%), 9-epi-(E)-cariofileno (21.4%), 14-hidroxi-9-epi-(E)-cariofileno (16.77%)	Praia de Tamandaré-PE	Folhas e frutos	Acaricida ( <i>Tetranychus urticae</i> )	Pontes et al. (2007)
terpinoleno (21.8%), diliapiole (16.1%), p-cimeno-8-ol (11.3%), p-cimeno (11%)	Manaus-AM	Resina	Anti-inflamatória (eosinófilos)	Siani et al. (1999)

Fonte: Autoria própria, 2022.

O estudo realizado por Pontes et al. (2007, p. 108) mostrou que o óleo das folhas e frutos possuem atividade acaricida por revelarem propriedades de mortalidade e inibição da oviposição dos ácaros, reduzindo o número de ovos e revelando sua promissora ação no controle de pragas.

Araújo (2012, p. 93) testou e evidenciou em ratos a atividade gastroprotetora do óleo da resina devido à ação antioxidante, em que o uso do óleo estimulou a modulação de enzimas antioxidantes e devido à ação cicatrizante, que se deu no aumento da excreção de ciclooxigenase e no fator de crescimento epidermal, responsáveis por promoverem a proliferação de células epiteliais, cuja função é cicatrizar mucosa. Siani et al (1999, p. 61) evidenciaram uma promissora ação anti-inflamatória ao tratar camundongos com o óleo extraído da resina, o tratamento reduziu significativamente a infiltração de eosinófilos (um tipo de glóbulo branco do sangue que quando presente em quantidades elevadas causam inflamação dos tecidos e danos aos órgãos). Bernard et al (2015, p. 14) mostraram que o óleo da resina de almécega pode ser uma opção terapêutica na medicina veterinária, com a aplicação tópica do óleo sendo benéfica no processo de cicatrização de feridas cutâneas induzidas experimentalmente em ratos.

Pinto et al (2015, p. 180) em seu estudo demonstraram que o óleo de almécega possui atividade antimicrobiana contra o agente causador da cárie, *Streptococcus mutans*, ao lavar escovas de dente com óleo, a eficácia da lavagem foi comparada à clorexidina (substância ativa

indicada para antissepsia da pele e pequenos ferimentos). Mobin et al (2016, p. 535) relataram uma considerável atividade antifúngica do óleo essencial da resina por inibir praticamente todas as espécies de *Cândida*, exceto a *rugosa*, inclusive a espécie *krusei* que é resistente ao fármaco fluconazol (antifúngico eficaz contra a maioria das espécies de *Cândida*). Quando esta última foi testada com o óleo essencial da resina de *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand demonstrou sensibilidade nas três concentrações testadas (250, 500 e 1000µg/L).

Conforme pode ser observada na tabela, a composição química dos óleos essenciais é diversificada, corroborando com as informações da literatura de que estas composições podem variar de acordo com a parte da espécie utilizada e a região onde o material é coletado, mesmo quando o óleo é extraído de indivíduos da mesma espécie (Lupe 2007, p. 8).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através desta revisão bibliográfica foi possível agrupar e sumarizar informações relevantes sobre a bioatividade dos óleos essenciais da espécie *Protium Heptaphyllum* (Aubl.) Marchand. Estas informações poderão nortear novos estudos científicos no tema e o desenvolvimento de produtos com o referido óleo. Foi constada uma promissora aplicação do óleo essencial devido às diversas atividades biológicas (acaricidas, antioxidante, cicatrizante, antimicrobiana e antifúngica) testadas e evidenciadas nos estudos científicos.

## REFERÊNCIAS

ALMESCAR. Portal Embrapa, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/sitio-tecnologico/trilha-ecologica/especies/amescla>>. Acesso em: 29 de nov. 2018

ARAUJO, D. A. O. V. **Avaliação da gastroproteção do óleo essencial do *Protium heptaphyllum march* (Burseracea) bem como os possíveis mecanismos de ação envolvidos em modelos de úlcera gástrica em ratos.** 2012. Dissertação (Mestrado em Farmacologia) – Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2012.

BANDEIRA, P. N. *et al.* Essential Oil Composition of Leaves, Fruits and Resin of *Protium heptaphyllum* (Aubl.) March. **Journal of Essential Oil Research**, Fortaleza, V. 13, p. 33-34, jan/fev. 2011.

BANDEIRA, P. N et al. Metabólitos secundários de *Protium Heptaphyllum* (march). **Química Nova**, Fortaleza, v.21, n.6B, p. 1078-1080, 2002.

BERNARDI, W.A. et al. Effects of topical application of essential oil from resin of almescar (*Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand) in experimentally induced skin wounds in rats. **Revista brasileira de Ciência Veterinária**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 10-15. Jan/mar. 2015.

CAVALEIRO, C. Plantas aromáticas e óleos essenciais em farmácia e medicina. **Potencialidades e Aplicações das Plantas Aromáticas e Medicinais**, p.55-62, 3º ed. Edição da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2007.

CITÓ, A. M. G. L et al. Identificação dos constituintes voláteis de frutos e folhas de *Protium Heptaphyllum* Aubl (March). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v.8, n.4, p.4-7, 2006.

DA SILVA, E. R. et al. Essential oils of *Protium* spp. Samples from Amazonian popular markets: Chemical composition, physicochemical parameters and antimicrobial activity. **Journal of Essential Oil Researe**, v.25, n.3, o.171-178, 2013.

FIGUEIREDO, C. A.; Pedro, G. L.; Barroso, J. G.. Plantas Aromáticas e Medicinais - Óleos essenciais e voláteis – **Revista da Associação Portuguesa de Horticultura**, n. 114, p. 29 a 33, 2014.

LEAL, P. F. **Estudo comparativo entre os custos de manufatura e as propriedades funcionais de óleos voláteis obtidos por extração supercrítica e destilação por arraste a vapor**. 2008. 275f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

LUPE, F. A. **Estudo da composição química de óleos essenciais de plantas aromáticas da Amazônia**. 2007. Dissertação (Mestre em Química Orgânica) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

MOBIN, M. et al. MDGC-MS analysis of essential oils from *Protium Heptaphyllum* (Aubl.) and their antifungal activity Against *Candida* specie. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Campinas, v. 18, n.2, p.531-538, 2016.

PINTO, F. R. et al. Stability and disinfected proprieties of the toothbrush rinse of the essential oil of *Protium Heptaphyllum*. **African Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v.9, n.6, p.173-181, 2015.

PONTES, W. J. T. et al. Chemical composition and acaricidal activity of the leaf and fruit essential oils of *Protium Heptaphyllum* (Aubl.) Marchand (*Burseraceae*). **Acta Amazonica**, v.37, n.1, p. 103-110, 2007.

SALAZAR, D. et al. Origin and maintenance of Chemical diversity in a species-rich tropical tree lineage. *Nature Ecology & Evolution*, v.2, p.983-990, 2018.

SIANI, A. C. et al. Evaluation of anti-inflammatory-related activity of essential oils from the leaves and resin of species of *Protium*. *Journal of Ethnopharmacology*, v.66, p.57-69, 1999.

SILVA, E. P. S. **Estudo dos óleos essenciais extraídos de resinas de espécies protium ssp**. 2006. Dissertação (Mestre em Química Analítica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

# CAPÍTULO 15

## SISTEMA CONSTRUTIVO LIGHT STEEL FRAME (LSF) E ALVENARIA CONVENCIONAL: BREVE COMPARAÇÃO TEÓRICA

**Glauco Nonose Negrão**  
**Rafaella Salvador Paulino**


### RESUMO

Graças aos avanços tecnológicos dos últimos anos que trouxeram ao mercado novos produtos devido às necessidades da construção moderna, a construção industrializada em aço está sendo cada vez mais utilizada no Brasil, seja em pequenas ou grandes estruturas. Neste contexto, a construção em Light Steel Frame pode se tornar uma alternativa que favorece o crescimento urbano sustentável no Brasil, através da utilização do aço, que pode vir a contribuir tendo uma menor geração de resíduos, além da rapidez na execução da obra. Este material tem como objetivo obter um referencial teórico sobre os principais impactos dos métodos construtivos em alvenaria convencional e Light Steel Frame (LSF) e obter um breve comparativo entre estes dois sistemas construtivos. A utilização dos métodos construtivos convencionais pode ser um problema quando se pensa no futuro mercado da construção civil no Brasil, afinal o meio de construção empregado nos dias atuais é caracterizado por uma alta taxa de desperdícios de materiais, e uma baixa produtividade. Com esse panorama, torna-se questionável se uso da alvenaria como principal método construtivo do Brasil é realmente viável. Ainda mais quando se analisa o atual mercado da construção civil, que se tornou extremamente competitivo, onde a tendência é cada vez mais aumentar a produtividade, diminuir os prazos de entrega da obra, diminuir o desperdício de materiais e resíduos construtivos, e proporcionar uma melhor relação custo benefício para as construções em geral. Mesmo com o panorama de resistência, o LSF vem tendo um crescimento constante no mercado brasileiro, o estudo de caso aponta para possibilidades que podem muito acrescentar para a difusão do método no território. Porém, o cenário brasileiro de construção não está apto para o uso em grande escala desse método construtivo, e isso é percebido pela falta de conhecimento da população sobre o sistema LSF e principalmente pela falta de disponibilidade de mão de obra qualificada. Além disso, a alvenaria é um método construtivo consolidado, e por uma questão cultural, o mercado brasileiro possui certa resistência a aderir novas tecnologias.

**PALAVRAS-CHAVE:** engenharia civil, técnicas de construção civil, gerenciamento de obras, sustentabilidade.

### INTRODUÇÃO

No Brasil a construção civil ainda possui em grande parte características tradicionais, onde a qualidade da construção e do acabamento está diretamente ligada ao tipo de material e a mão de obra empregada, sendo o principal sistema utilizado o concreto armado e a alvenaria (NUNES, 2017). A construção civil é predominantemente feita de modo tradicional (artesanal) que se destaca pela sua baixa produtividade e grande desperdício (SANTIAGO; FREITAS; CRASTO, 2012).




O método de alvenaria convencional da construção civil, também chamado alvenaria de vedação e amplamente empregado no Brasil, gera muitos impactos ao meio ambiente em todo o processo, desde a extração de matéria-prima até a execução da obra, gerando grande volume de resíduos (ROTH e GARCIAS, 2009). No Brasil estes resíduos de construção e demolição representam mais da metade dos resíduos sólidos urbanos gerados diariamente (FERREIRA, 2009).

Por falta de planejamento na concepção dos projetos, por razões econômicas ou até mesmo por falta de conscientização sobre as questões ambientais, o setor da construção civil se torna um setor que causa grandes impactos ao meio ambiente (SILVEIRA, 2011). O setor é também responsável pelo consumo de dois terços da madeira, 50% dos recursos naturais e matérias primas da terra, além de ser considerado o terceiro maior em emissões de CO<sub>2</sub> e outros gases nocivos à atmosfera (SILVEIRA, 2011). Atrelado a este fator, o ramo da construção civil cresce com a necessidade de buscar novas técnicas de construção que permitam um aumento de produtividade e menor desperdício (CRASTO, 2005).

Apesar da grande diversidade de métodos construtivos o Brasil ainda se mostra resistente a inovações, optando muitas vezes pelo método tradicional de alvenaria, que possui mão de obra mais barata que os demais por exigir menos qualificações (CASSAR, 2018). Atualmente o mercado vem buscando novas tecnologias de maneira a evitar grandes problemas ao meio ambiente e buscando a racionalização nos processos de construção civil. Ainda há de se considerar que este método, por utilizar mão de obra menos qualificada, pode ter importante papel na redução da pobreza do país (GHINIS e FOCHEZATTO, 2013).

O crescimento populacional traz consigo a problemática de aumento da demanda da construção de novas edificações ou adaptação das moradias já existentes (REIS, 2018) e atrelado à busca pela sustentabilidade, surgem os novos métodos construtivos que são mais rápidos e reduzem o uso de recursos naturais, já que a metodologia em alvenaria convencional além gerar um expressivo volume de resíduos, precisa de um prazo maior para entrega (SENA JÚNIOR e DO CARMO, 2015). Apesar de ser um grande produtor de aço, este recurso ainda é pouco empregado no uso de estruturas metálicas em construções (CRASTO, 2005).

Graças aos avanços tecnológicos dos últimos anos, que trouxeram ao mercado novos produtos devido às necessidades da construção moderna, hoje, a construção industrializada em aço está sendo cada vez mais utilizada no Brasil, seja em pequenas ou grandes estruturas (ABDI, 2015). O aço tem sido utilizado através dos tempos, como um material de grande



versatilidade para a aplicação, sendo muito adaptável às mais severas condições de serviços e possuindo um alto desempenho técnico. Devido às suas características técnicas, alcançadas pela evolução tecnológica, tem substituído diversos materiais em vários setores industriais (ABECE/CBCA, 2010).

Neste contexto, a construção em Light Steel Frame pode se tornar uma alternativa que favorece o crescimento urbano sustentável no Brasil, através da utilização do aço, que pode vir a contribuir tendo uma menor geração de resíduos, já que estes podem ser reaproveitados através de métodos de reciclagem, além da rapidez na execução da obra. Sendo assim, este material tem como objetivo obter um referencial teórico sobre os principais impactos dos métodos construtivos em alvenaria convencional e Light Steel Frame (LSF) e obter um breve comparativo entre estes dois sistemas construtivos. O trabalho foi realizado baseado em análises de bibliografias disponíveis. Foram efetuadas pesquisas referentes aos assuntos englobados pelo tema. Em seguida, a organização das ideias e informações adquiridas nas pesquisas e, por fim, a elaboração do texto.


### **Sistema construtivo Light Steel Framing**

O sistema LSF (construção LSF ou estrutura em aço leve) é constituído por métodos construtivos a seco, ou seja, meios de construção que são realizados a partir de um processo constituído por etapas como a montagem, produção e instalação da estrutura (LIMA, 2018). É composto por diversos componentes fundamentais para sua execução como fundação, isolamento termo acústico, fechamento interno e externo, instalações elétricas e hidráulicas (SANTIAGO; FREITAS; CRASTO, 2012).

A estrutura é composta por perfis leves de aço galvanizados conformados a frio dando forma a um esqueleto metálico formados por diversos elementos individuais ligados entre si, formando uma estrutura capaz de resistir as cargas solicitadas pela edificação. É produzido a partir de chapa de aço com espessura reduzida gerando rapidez na execução da obra, redução no peso do edifício, redução de custos e desperdícios. As influências do aço neste tipo de sistema mantem a estrutura leve, sendo destaque para edifícios com determinado número de pavimentos, além de sua resistência a determinados tipos de agentes externos. Sua fabricação não necessita de maquinaria pesada. Possui flexibilidade, permitindo qualquer tipo de acabamento exterior e interior.

O LSF faz parte do sistema CES (Construção Energitérmica Sustentável), uma denominação empregada internacionalmente para definir o material construtivo que utiliza o





aço galvanizado como principal elemento estrutural, gerando elementos de baixo peso (Passini et al, 2014), padronizados e de tecnologia avançada. A expressão Energitérmica caracteriza a edificação pelo seu bom aproveitamento da energia e ótimo desempenho térmico, resultando numa economia global do sistema desenvolvido. (KRÜGER, P; GUILHERME, R. V; RIBEIRO, R. S, 2012).

A metodologia aplicada traz componentes industrializados e com isto conseguem promover o controle do produto final, de forma segura e sem riscos de desvios nos procedimentos de materiais e serviços durante a etapa da construção. O Steel Framing é uma forma de construir que implementa baixo custo, rapidez, flexibilidade, preservação ambiental, sendo estas uma tendência natural tendo em vista as necessidades apresentadas por uma sociedade em desenvolvimento.


Outra característica que diferencia o sistema construtivo LSF dos demais é a limpeza do canteiro, por ser uma forma construtiva a seco denominada drywall, que desconsidera o uso de concreto e cimento. Além disso, deve ser considerada a viabilidade nos cálculos, gerando uma maior precisão na quantidade de material a ser aplicado, bem como mão de obra a ser utilizada e tempo de execução, consequentemente a redução nos custos da obra.

### **Contexto socioeconômico em território nacional**

O sistema Light Steel Framing (Armação de aço leve) - LSF surgiu na América do Norte durante o século XIX e disseminou-se rapidamente pelo mundo todo. Atualmente é o mais moderno e confiável sistema construtivo utilizado mundialmente em países como Estados Unidos, Austrália, Nova Zelândia, Canadá e Japão (SILVA; AZEVEDO, 2018). Isso se dá devido à racionalização do processo através de cronogramas e planejamentos de execução, o gerando uma diminuição do custo devido à redução do desperdício de materiais empregados e uma padronização seguida por uma produção seriada.

Segundo Lopes (2008), no Brasil teve início em 1998 sendo aplicado em residências, trazendo tendências tecnológicas no modo de construir de maneira diferenciada das tradicionais, atribuindo grandes vantagens para o construtor e o consumidor. Este tipo de construção veio como uma forma de atender as necessidades de uma sociedade moderna em relação à construção civil.

No Brasil este sistema construtivo ainda encontra resistência no mercado devido à falta de mão de obra qualificada, variação no custo da matéria prima e a dificuldade na mudança cultural no âmbito da construção. Com a oportunidade de uma construção enxuta surgem no



mercado nacional empresas, cujo objetivo principal é a industrialização do setor através de tecnologias inovadoras, projetos criativos e alta qualidade de produtos e serviços.

Através deste sistema é possível atender diversos setores como habitacionais, residenciais e comerciais e até mesmo projetos padronizados atendendo as normas de sustentabilidade, racionalização e industrialização, hoje de grande necessidade no setor da construção civil.

O aço que é produzido no parque siderúrgico Brasileiro e integrado com outros componentes industrializados, agora, empregado no sistema steel framing, substitui com vantagens técnicas econômicas e ambientais, materiais como tijolos, madeiras, vigas e pilares de concreto; proporcionando um salto qualitativo no processo produtivo e posicionando a indústria Nacional de construção civil de uma forma mais competitiva frente a um mercado globalizado.

### **O uso da alvenaria em território Brasileiro**

A alvenaria é caracterizada como um método construtivo cujo objetivo é oferecer resistência, proteção, vedar espaços e proporcionar o devido conforto termo e acústico para uma edificação. Método formado basicamente por um conjunto de blocos sejam eles feitos de pedras, tijolos, concreto, cerâmica ou blocos unidos por uma argamassa com objetivo de formar muros, paredes ou até mesmo alicerces de um edifício (PEREIRA, 2018).

A alvenaria é o principal sistema utilizado para vedações em território brasileiro, sejam elas externas ou internas. Essa é a opção economicamente mais viável para realidade atual do país, devido à facilidade de se encontrar mão de obra. Porém esse método deve cumprir uma série de requisitos para que seja considerada apropriada para a construção como proporcionar segurança para usuários, isolamento térmico e acústico, resistência à umidade, movimentos térmicos e infiltrações de água pluvial e se adequar a estrutura dividindo os ambientes.

A alvenaria é considerada um sistema artesanal, de modo que todas as etapas de construção são feitas “*in loco*”, tornando o processo construtivo demorado. Outro agravante é a mão de obra não qualificada mesmo que haja muita mão de obra disponível no mercado, poucos tem o devido conhecimento necessário para se trabalhar com esse método construtivo, com um profissional despreparado pode haver muita perda de material e a possibilidade de ter que refazer um trabalho mal feito, aumentando de forma significativa ainda mais a taxa de desperdício de material e resíduo produzido por esse método construtivo (HASS; MARTINS, 2011).

## Comparativo entre a alvenaria convencional e LSF

Na alvenaria tradicional o custo da fundação equivale de cerca de 15% do valor total da construção, enquanto no LSF esse valor se reduz a 7%, sendo possível devido a distribuição de cargas, onde na alvenaria essa distribuição é feita de maneira pontual, enquanto no LSF de maneira Linear. O LSF possibilita uma maior precisão na execução de paredes, portas e possibilitando uma precisão milimétrica. Já a alvenaria as medidas são definidas através de centímetros, podendo causar irregularidades no futuro do projeto.


Por ser considerado um sistema construtivo "a seco", o LSF proporciona um canteiro de obras limpo e organizado. Quanto à alvenaria, esta necessita da utilização de muita água em seu processo construtivo, o que conseqüentemente reflete em um canteiro de obra sujo e com dificuldade de limpeza (CARMO e JÚNIOR, 2015).

Segundo Oliveira (2012) ao executar projetos auxiliares como projeto elétrico e hidráulico, a alvenaria necessita da quebra de paredes para passar as devidas instalações, promovendo um aumento considerável nos resíduos produzidos pela obra, enquanto no LSF os projetos auxiliares são executados em conjuntos através de etapas, sendo mais rápida a execução e não proporcionado desperdício.

A alvenaria gera uma grande taxa de desperdício de matéria prima utilizada, afinal, todos os materiais empregados são partes integrais do processo construtivo, impactando de maneira considerável no meio ambiente. Enquanto no LSF a maioria dos seus componentes é pré-fabricada, o que possibilita uma diminuição na perda dos materiais, fazendo com que esse sistema construtivo seja considerado sustentável.

Se tratando de reparos, no sistema construtivo LSF caso seja necessário realizar algum tipo de manutenção é necessário localizar a patologia, retirar a placa interna e realizar o reparo. Na alvenaria essa manutenção requer um esforço maior, onde a manutenção pode depender de diversos fatores externos (HASS E MARTINS, 2011).

Nos projetos executados com alvenaria a estrutura da edificação é realizada através da utilização do concreto armado, onde a qualidade da execução depende de fatores externos como mão de obra qualificada, umidade do ar e temperatura. O LSF tem sua estrutura constituída por aço galvanizado, produto que obedece a rigoroso conceito de qualidade em sua fabricação. Os dois sistemas construtivos são duráveis possuindo uma estimativa superior a 100 anos, com devida manutenção.



As construções em alvenaria não possibilitam bom isolamento térmico, o que gera custos para manutenção da temperatura. Já o sistema construtivo LSF possibilita um potente isolamento térmico em função da lã de vidro (CARMO e JÚNIOR, 2015).

Por meio das informações apresentadas, entende-se que a alvenaria convencional é empregada em grande escala no território brasileiro, afinal, é um método construtivo que os materiais e insumos utilizados são “baratos”, as ferramentas e equipamentos utilizados são de fácil acesso e há uma grande demanda de mão de obra, mesmo que não qualificada.

A edificação quando analisada de forma geral, possui um ótimo desempenho e elevada resistência com um custo de manutenção relativamente baixo e possuindo uma longa vida útil. Entretanto, esse método construtivo segue um processo de características artesanais, dificultando o controle de qualidade da obra, fazendo que haja uma baixa produtividade, limitações construtivas, patologias, perda de material e uma alta taxa de resíduos gerados. (CASSAR, 2018).

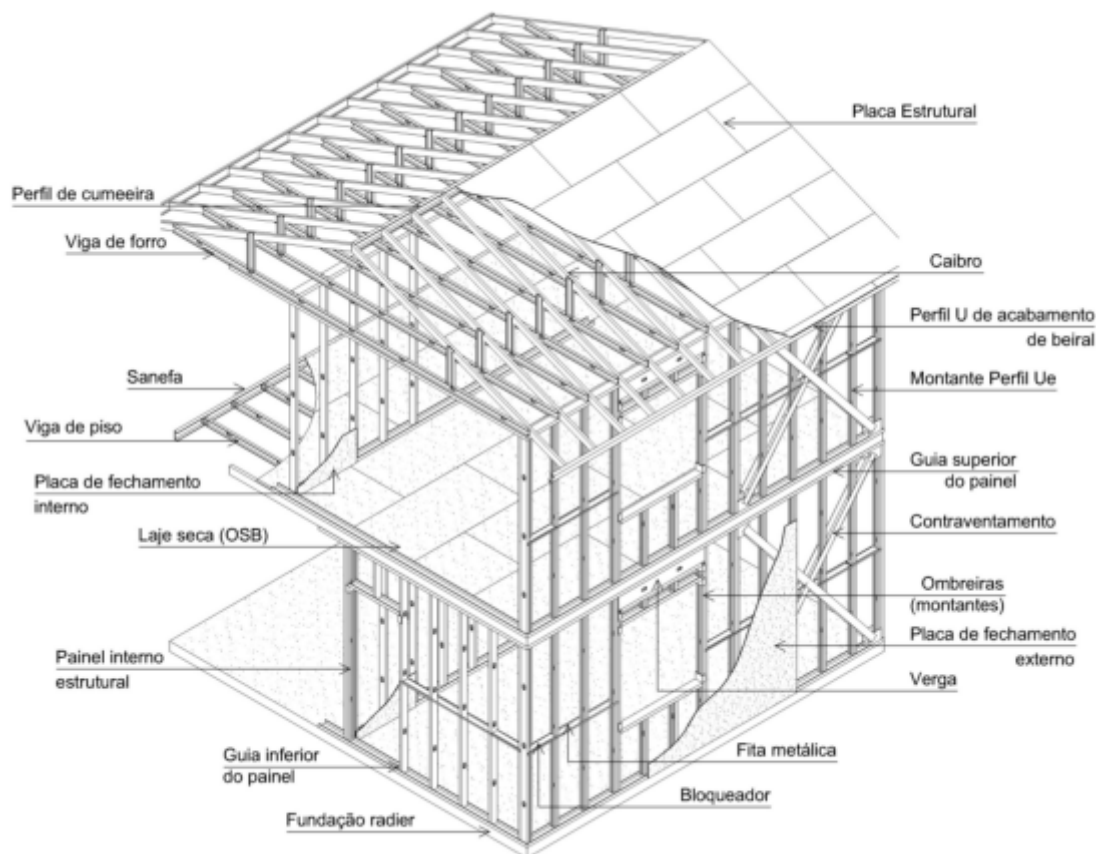
O sistema construtivo LSF é um método construtivo a seco, sua estrutura é realizada de aço galvanizado e montado por mão de obra qualificada. Os materiais utilizados são de alta qualidade e passam por processo de industrialização. Sua estrutura é racionalizada e flexível, definida de acordo com o descrito no projeto arquitetônico.

Possuindo alta taxa de produtividade, possibilita uma fácil montagem, manuseio e transporte de todos os materiais e equipamentos. Construção realizada de forma racionalizada possui manutenção facilitada, e pouca geração de resíduos. O LSF possibilita combinações de diferentes tipos de materiais para acabamento e isolamento. Porém, o material e Mão de obra para executar esse método construtivo são mais caros que os necessários para executar uma obra em alvenaria tradicional (CASSAR, 2018).

## **Vantagens**

É um sistema construtivo constituído por perfis metálico todos parafusados, sendo que no revestimento interno e externo podem ser utilizadas chapas de gesso especial, cimentícias, madeira entre outros. Os sistemas elétricos e hidráulicos ficam localizados no interior das paredes. No sistema construtivo LSF o aço é material principal para superestrutura que é constituída de metal galvanizado, que é o processo de revestimento com uma liga de zinco para proporcionar ao produto maior resistência a oxidação.

**Figura 1:** Desenho esquemático do sistema Light Steel Frame.




**Fonte:** Santiago et al, 2012.

A estrutura metálica é compatível com diversos materiais de fechamento, como alvenaria, painéis pré-fabricados de concreto, painéis metálicos termoisolantes, light steel framing, entre outros. Os exemplos a seguir são alguns dos sistemas de vedação estruturados em aço, perfeitamente compatíveis com as estruturas metálicas, segundo a ABDI (2015):

- Light steel framing (LSF) – caracterizado por um esqueleto estrutural leve composto por perfis de aço galvanizado, complementados por placas cimentícias;
- Painéis arquitetônicos de fachada – fixados com o apoio de perfis metálicos, os painéis podem sair de fábrica com revestimento de mármore ou granito, por exemplo;
- Painéis metálicos termoisolantes – os painéis-sanduíche normalmente são confeccionados em aço (zincado pré-pintado, anodizado ou inox), alumínio ou chapas de polímero perfiladas a quente com recheio isolante.

É importante destacar que o isolamento termo acústico deste sistema é geralmente feito com manta de lã.



Na construção em aço, as peças são produzidas em fábricas e montadas posteriormente na obra, por tratar-se de uma construção industrializada. Tem como característica principal o fato de deslocar boa parte das atividades para fora do canteiro de obra (ABDI, 2015).

O processo da construção seca caracteriza-se pela racionalização e rapidez na execução, demonstrando que a utilização de aço dentro da construção civil torna qualquer projeto arquitetônico viável. A velocidade de execução de uma unidade habitacional ou comercial, pode ser consideravelmente reduzida, podendo chegar a 1/3 do tempo se comparado aos métodos tradicionais de execução, tendo como parâmetro, uma construção de 100m<sup>2</sup>, que pode ser finalizada em até 30 dias, proporcionando ao empreendedor um retorno mais viável ao seu investimento inicial. Além da redução do tempo de exposição da mão de obra, reduzindo possíveis riscos de acidentes de trabalho.


A principal preocupação é o fator econômico, e neste caso proporciona um custo pouco superior em comparação aos métodos convencionais de construção, no entanto, com prazos reduzidos e sem perdas na obra que são fatores comuns em outros estilos construtivos, uma vez que o aço é produzido industrialmente.

Sua leveza é vista como uma vantagem pois com o peso reduzido, em função do aço que é distribuído uniformemente através das paredes, ocorre um alívio nas fundações que garante a segurança da obra, como também, não permite a propagação do fogo, não sofre ataque de cupins por conta de suas propriedades naturais. Sua resistência à corrosão é resultado do revestimento de zinco, que protege e serve como barreira física contra cortes, riscos, arranhões, torções e trincos, que é o que geralmente ocorre com a madeira.

Possui um grande desempenho na questão acústica e térmica, que é obtido a partir da combinação dos produtos de isolamento e revestimento entre as placas de paredes, e o forro revestido de lã, que é cerca de duas a três vezes superiores ao desempenho da alvenaria convencional, podendo ser utilizado vidro, rocha ou poliéster.

Análises realizadas em laboratório experimentais sugerem que, para que uma parede de alvenaria possua o mesmo desempenho térmico e acústico de uma em LSF de 90 mm de espessura seria necessário que a de alvenaria tivesse 1500 mm de espessura.

Os custos de energia para o aquecimento ou refrigeração do imóvel são muito inferiores comparados ao sistema convencional, ou seja, a casa permanecera mais tempo na mesma temperatura que se deseja, pagando-se um valor menor na conta de luz. Considerando que nosso



país é extenso e tem uma diversidade de temperaturas, algumas regiões podem ser muito beneficiadas com esta forma construtiva.

O baixo custo da manutenção se dá com a facilidade de intervir nos sistemas, propiciando agilidade e baixo custo na execução dos serviços, não gerando sujeira e barulho. Estes são motivos responsáveis por adiamentos de reformas de casas convencionais. Da mesma maneira que a reciclagem e o reaproveitamento dos materiais são usados no canteiro de obra. O aço sendo o único material que possui a vantagem de ser reaproveitado inúmeras vezes e não perdendo suas principais funcionalidades, qualidades e resistência.

### **Desvantagens**

Um fator importante a ressaltar é referente a leveza da estrutura, o aponta dois fatores desvantajosos. Primeiramente, a obra por ser leve, possui um número máximo de andares, não podendo ultrapassar de cinco.


Outro fator ocorre dependente do material utilizado interiormente, ou seja, usando um material frágil como revestimento no interior da edificação, a parede e a estrutura pode ser danificada ao pendurar objetos muitos pesados.

Outra característica desvantajosa é pelo fato de ser uma maneira inovadora de construção no Brasil, em que ainda não existe muita mão de obra especializada para que a forma ocorra de forma regular.

### **PROCESSO CONSTRUTIVO DA ESTRUTURA STEEL FRAME**

Para início da montagem da estrutura Steel Frame se faz necessário ter em mãos o projeto, todos os componentes da estrutura, profissionais qualificados e principalmente os EPIs (equipamentos de proteção individual), como também ferramentas apropriadas para montagem. Dentre os materiais para início dos serviços podemos citar: capacete, protetor auricular, luvas, óculos, furadeira, lixadeira, esquadro, linha de giz, nível bolha, trena, chave catraca, estilete, martelo, parafusos, brocas e chumbadores.

Todas as etapas da montagem da estrutura exigem do profissional qualificado muita atenção, dado em vista que o alinhamento e o prumo dos frames são essenciais para uma perfeita instalação dentro do solicitado no projeto. Erros poderão afetar os revestimentos internos e externos, porquanto as placas chegam na obra com medidas corretas, já determinadas no projeto e estas não poderão sofrer alterações no seu dimensional.



Toda esta estrutura deverá ser montada sobre uma laje de concreto armado (Radier), já que é um método mais leve e rápido de execução de piso, com economia de concreto e com resistência calculada para suportar o peso da estrutura que sobre ele será descarregada.

### **Normas ABNT NBR**

Devido ao fato que esse sistema construtivo ser relativamente novo no mercado brasileiro, não existem normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) específicas sobre a montagem do sistema. No entanto, os profissionais que trabalham na área devem se orientar por outras normas de referência, tais como:

- ABNT NBR 6.355:2012 - Perfis estruturais de aço formados a frio — Padronização;
- ABNT NBR 15575-1: 2013- Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais;
- ABNT NBR 14715-1:2021 - Chapas de gesso para drywall Parte 1: Requisitos;
- ABNT NBR 14762:2010 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.


### **Estrutura da edificação**

Este é um sistema sustentável por utilizar-se de matéria prima reciclável (aço utilizado para produção dos perfis, e coletado por empresas responsáveis pela reutilização do mesmo), não sendo necessário o uso de água durante a obra, eliminando o desperdício de energia e materiais.

Os perfis formados a frio de aço galvanizado são utilizados na composição de painéis estruturais e não-estruturais, vigas de piso, vigas secundárias, tesouras de telhado e demais componentes. Basicamente o esqueleto estrutural em light steel frame é composto por paredes, pisos e cobertura. Reunidos, eles possibilitam a integridade estrutural da edificação, resistindo aos esforços que a solicitam.

A Fundação é realizada a partir de uma laje de concreto radier que é posto sobre o terreno já nivelado e compactado. O tipo de fundação vai depender da tipologia do solo e da necessidade do projeto. O radier é uma fundação rasa recomendada para solos com baixa resistência. Para saber qual é a resistência do solo do seu terreno é necessário contratar uma empresa especializada para fazer a análise do solo. A metodologia de análise de solo mais utilizada é a SPT.





O radier é uma “laje” de concreto armado ou protendido que fica abaixo da casa e em contato direto com o solo. Neste tipo de fundação o peso (carga) é distribuído de forma uniforme para o solo. Antes da concretagem, devem ser feitas as instalações hidráulicas e elétricas que passam por baixo da casa. Geralmente são as tubulações de esgoto, águas pluviais, entradas de energia e comunicação.

### **Fechamento**

Paredes, lajes e estruturas do telhado são finalizadas com chapas de fechamento. Na parte externa das paredes são aplicadas chapas cimentícias (feitas de cimento, fibras e agregados), suas dimensões variam de uma obra a outra e sua espessura gira, geralmente, em torno de 10/12mm. As placas são fixadas no “esqueleto” com auxílio de parafusos.

Já nas placas internas das paredes externas e nas placas das paredes internas e forros são colocadas placas de gesso acartonado (feitas com massa de gesso e agregados), suas dimensões também variam de uma obra a outra e espessura é de 12,5mm, fixadas também com auxílio de parafusos.


Após as etapas de fundação, estrutura, impermeabilização e fechamentos, os demais componentes para finalização da obra são os habituais de qualquer construção: pintura, revestimentos cerâmicos e telhado.

## **MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO E APLICAÇÕES**

Para este tipo de construção é preciso que os materiais sejam industrializados sob normas internacionais de desempenho e fabricação, garantindo que seja um produto de qualidade quando finalizado. Esse sistema não deve ser confundido com pré-moldados em concreto, madeira e outros que deixam o resultado final idêntico ou parecidos. O Steel Frame é um estilo personalizado e com características únicas.

- **MÉTODO STICK:** Todas as partes da edificação são cortadas no canteiro de obra, as lajes, painéis e cobertura são montadas no local. Eles podem vir perfurados para passagem de instalações hidráulicas e elétricas. Esse método é uma boa saída para construções onde não há local viável para a pré-fabricação, além de facilitar o transporte das peças e a união delas, aumentando apenas a atividade na obra.

- **MÉTODO POR PAINÉIS:** Algumas partes (como painéis estruturais e não estruturais, tesouras do telhado, lajes, etc.) podem ser pré-fabricadas fora da obra, transportadas e montadas no local. Alguns painéis de fechamento também podem ser aplicados na pré-fabricação para



diminuir o tempo de serviço na edificação. Este método é recomendado para construções em que há um curto prazo de entrega, pois a montagem é rápida.

- **CONSTRUÇÃO MODULAR:** Este método consiste em todo o módulo ser pré-fabricado e entregue pronto com todos os acabamentos e revestimentos internos, bancadas, instalações hidráulicas e elétricas. Podem ser colocadas lado a lado, ou uma sobre a outra, dependendo de como será a forma final da edificação.

- **MÉTODO *BALLOON/PLATFORM FRAMING*:** No método *balloon* a estrutura do piso é fixada nos painéis da parede que são geralmente grandes e vão além de um pavimento. No método *platform* os pisos e paredes são construídos sequencialmente, um pavimento por vez, não havendo painéis contínuos como no método *balloon*.

Através da unificação de todos os subsistemas é possível garantir conforto, bem-estar e beleza a qualquer tipo de edificação, satisfazendo as expectativas do cliente que esperou certo tempo pela conclusão do seu sonho de consumo e disponibilizou recursos para que isto pudesse ser realizado atendendo todas as suas expectativas.


As aplicações podem ser para diversos projetos arquitetônicos, como residências, escritórios, hospitais, escolas e edifícios. Este sistema é indicado, sobre tudo, para projetos com muita repetição de elementos como no caso de conjuntos habitacionais, ou que contam com muitas divisões internas, como Hospitais, alojamentos e escritórios.

A aplicação do referido sistema reduz consideravelmente o custo e o tempo de fabricação da estrutura, pois permite que diversas etapas sejam executadas ao mesmo tempo e em lugares diferentes. “Outra característica essencial ao sistema é a diminuição do carregamento na fundação, possibilitando um barateamento desta etapa devido ao baixo peso da estrutura metálica.

Além de rápido, de ter custo reduzido, ter uma obra limpa, é possível observar que o sistema construtivo nada deixa a desejar na finalização da obra. Logo, na finalização da construção a estrutura nunca se apresenta aparente, já que os elementos estruturais que formam as paredes, pisos e tetos estão sempre encobertos pelos materiais de fechamento, assim o resultado final assemelha-se à de uma construção convencional.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Após análise das referências, pode-se concluir que o sistema “Steel Framing” é viável, pois apresenta vantagens desde redução de custo, redução do cronograma, se comparado ao



sistema tradicional. Este sistema permite a utilização de qualquer tipo de material, aplicado a estrutura metálica podendo atender projetos de baixo investimento até projetos de alta complexibilidade dentro das variadas faixas das classes sociais e para os diversos tipos de utilização.


O sistema construtivo “Steel Framing” pode-se melhorar o processo de elaboração de uma edificação. Por se tratar de um processo de industrialização fora do canteiro de obra, há uma imensa redução no consumo de água, luz, mão de obra, transporte, depósito de agregados miúdos e graúdos, além de diminuição dos riscos de acidentes durante os trabalhos. Além disso o aço é um material durável e está em perfeita sintonia com conceito de sustentabilidade exigido nos tempos atuais. Convém ressaltar a necessidade de mão de obra capacitada, projetos bem detalhados para poder estar amenizando as perdas e os prazos estabelecidos no cronograma de construção.

O mercado ainda se mostra resistente quanto a aquisição este método construtivo por receio de que a estrutura fique aparente e apresente fragilidade. Atualmente o principal método construtivo utilizado no Brasil é caracterizado por ser realizado de forma artesanal, tendo como base principal o uso da alvenaria, onde não se utiliza com frequência técnicas elaboradas ou métodos industrializados de construção (SANTIAGO, 2008).

A utilização dos métodos construtivos convencionais pode ser um problema quando se pensa no futuro mercado da construção civil no Brasil, afinal o meio de construção empregado nos dias atuais é caracterizado por alta taxa de desperdícios de materiais e baixa produtividade. Com esse panorama, torna-se questionável se uso da alvenaria como principal método construtivo do Brasil é realmente viável. Ao se analisar o atual mercado da construção civil, que se tornou extremamente competitivo, onde a tendência é cada vez mais aumentar a produtividade, diminuir os prazos de entrega da obra, diminuir o desperdício de materiais e resíduos construtivos, e proporcionar uma melhor relação custo benefício para as construções em geral.

Dentro das principais vantagens em se utilizar o Steel Frame, está a sua precisão em execução das obras, proporcionando uma maior agilidade nas construções, redução de peso na estrutura, grande variedade de acabamentos, um baixo custo e principalmente sua sustentabilidade, mesmo com a limitação de gabarito.

Atualmente no Brasil, poucas edificações são construídas por esse sistema, isso se dá pela escassez de mão de obra especializada, além de o país ser de caráter conservador, logo



novas tecnologias como o Steel Frame tendem a demorar a ter a devida aceitação pela população e mercado (PEREIRA, 2018). A alvenaria convencional é comumente vista como uma alternativa economicamente viável ao consumidor, entretanto essa percepção não é vista por um contexto geral, pois o custo final de uma obra em Light Steel Framing, analisando todas as etapas da obra, e levando em consideração o preço dos materiais, tempo de execução e mão de obra utilizada, se torna inferior ao custo final de uma obra executada em alvenaria convencional, além de se destacar pela sua qualidade, produtividade, racionabilidade, prazo e impacto ambiental.

Mesmo com o panorama de resistência, o LSF vem tendo um crescimento constante no mercado brasileiro, o estudo de caso aponta para possibilidades que podem muito acrescentar para a difusão do método no território. Porém, o cenário brasileiro de construção não está apto para o uso em grande escala desse método construtivo, e isso é percebido pela falta de conhecimento da população sobre o sistema LSF e principalmente pela falta de disponibilidade de mão de obra qualificada. Além disso, a alvenaria é um método construtivo consolidado, e por uma questão cultural, o mercado brasileiro possui certa resistência a aderir novas tecnologias.

## REFERÊNCIAS

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Manual da construção industrializada – Conceitos e etapas – Volume 1: Estrutura e vedação**. Brasília: Setor de Indústrias Gráficas, 2015.

ABCEM – Associação Brasileira de Construção Metálica. **Manual Técnico Telhas de Aço**. São Paulo: Edição 1, setembro 2009.

ABNT – Associação Brasileira de Normas técnicas. **NBR 6.355:2012 - Perfis estruturais de aço formados a frio — Padronização**. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT – Associação Brasileira de Normas técnicas. **NBR 15575-1:2013 - Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – Associação Brasileira de Normas técnicas. **NBR 14715-1:2021 - Chapas de gesso para drywall Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT – Associação Brasileira de Normas técnicas. **NBR 14762:2010 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Rio de Janeiro, 2010.

CASSAR, B. C. **Análise comparativa de sistemas construtivos para empreendimentos habitacionais: Alvenaria convencional x Light Steel Frame**. Monografia (Graduação em

Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro/RJ, 2018.

CRASTO, R. C. M. D. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Framing**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto/MG. 2005.

FERREIRA, S. R. L. **O pensamento do ciclo de vida como suporte à gestão dos resíduos sólidos da construção e demolição: exemplo no Distrito Federal e estudos de casos de sucessos no Brasil e exterior**. Dissertação (Mestrado) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília. Brasília/DF. 2009.

GHINIS, C. P.; FOCHEZATTO, A. Crescimento pró-pobre nos estados brasileiros: análise da contribuição da construção civil usando um modelo de dados em painel dinâmico, 1985-2008. **Economia Aplicada**, v. 17, n. 3, p. 243-266, setembro 2013.

HASS, D.; MARTINS, L. **Viabilidade econômica do uso do sistema construtivo Steel frame como método construtivo para habitações sociais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

JÚNIOR, C. A. S.; CARMO, L. R. S. **Estudo comparativo em habitações sociais: alvenaria convencional x light steel frame**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia do Instituto DOCTUM de Educação e Tecnologia. Caratinga, 2015.

KRÜGER, P; GUILHERME, R. V; RIBEIRO, R. S. Análise de sistemas de impermeabilização para placas de OSB (Oriented Strand Board) em construções energéticas sustentáveis. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 4, n. 2, p. 65- 74, agosto/2012.

LIMA, T. Construção a seco: características, vantagens e desvantagens. **Sienge**, 2018. Disponível em <https://www.sienge.com.br/blog/construcao-a-seco/> Acesso em 30/04/2022.


MENDES, G. F. **Índice global de impacto dos métodos construtivos light steel frame e alvenaria convencional**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

NUNES, K. **Estudo experimental comparativo acerca da resistência à compressão axial entre paredes de light steel frame e alvenaria estrutural**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

OLIVEIRA, G. V. **Análise comparativa entre sistema construtivo em light steel framing e o sistema construtivo tradicionalmente empregado no nordeste do Brasil aplicados na construção de casas populares**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

PEREIRA, C. Steel Frame: o que é, características, vantagens e desvantagens. **Escola Engenharia**, 2018. Disponível em <https://www.escolaengenharia.com.br/steel-frame/> Acesso em 30/04/2022.

REIS, J. F. **Métodos Construtivos Alternativos para Otimizar a Construção de Habitações Populares**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro/Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2018.



ROTH, C. D. G.; GARCIAS, C. M. **Construção Civil e a Degradação Ambiental. Desenvolvimento em Questão**, v. 7 n. 13, 2009.

JÚNIOR, C. A. S.; DO CARMO, L. R. S. **Estudo comparativo em habitações sociais: Alvenaria Convencional x Light Steel Frame**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Instituto DOCTUM de Educação e Tecnologia, Caratinga, 2015.

SILVEIRA, P. D. S. **O conceito de sustentabilidade aplicado à construção civil**. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental) - Universidade Candido Mendes/Faculdade Integrada AVM. Rio de Janeiro. 2011.

SANTIAGO, A. K. **O uso do sistema light steel framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não-estrutural**. Dissertação (Programa de pós-graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

SANTIAGO, A. K. et al. **Steel framing: Arquitetura - Sério Manual de Construção em aço**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2012.

# CAPÍTULO 16

## APLICAÇÃO DO TESTE DE VAN DER WAERDEN NA COMPARAÇÃO ENTRE NÍVEIS DE MATERIAL PARTICULADO MP10 NO MUNICÍPIO DE BARRA MANSA/RJ

**Igor Campos de Almeida Lima**  
**Marcello Montillo Provenza**  
**Soraya de Oliveira Bandeira**  
**Cristiano Pontes Nobre**  
**Paulo Henrique Couto Simões**  
**Jorge Luiz de Jesus Goulart**  
**Yuri Duarte Porto**  
**Victor Moreira**

### RESUMO

Materiais particulados são contaminantes ambientais de interesse público. O Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (INEA) possui diversas estações de monitoramento automático e semiautomático de poluentes atmosféricos, distribuídos na região metropolitana e também ao longo do Estado. O objetivo do trabalho foi verificar se havia diferença nas concentrações médias diárias de material particulado com diâmetro menor que 10 micrômetros por metro cúbico (MP10), em quatro estações de monitoramento automático localizadas no município de Barra Mansa, através do teste de Van der Waerden. Os dados são referentes ao inverno de 2020. Foram empregados os testes de Shapiro-Wilk e Jarque-Bera, para normalidade, o teste de Levene modificado por Brown-Forsythe para investigar a homocedasticidade, e a correção de Benjamini-Hochberg nos valores-p. A metodologia se mostrou adequada para determinar se havia diferença ou não entre os níveis de contaminação e quais regiões diferiam.

**PALAVRAS-CHAVE:** teste de van der Waerden, poluentes atmosféricos, MP10, *software* R.

### INTRODUÇÃO

As mortes em decorrência de poluição atmosférica cresceram 14% no período de 2006 a 2016, passando de 38.782 óbitos para 44.228 óbitos (BRASIL, 2018). O mesmo estudo ainda cita um relatório da Organização Mundial de Saúde (OMS), estimando em 4,2 milhões de mortes prematuras anuais em decorrência de problemas relacionados a poluição atmosférica. Em virtude da gravidade associada aos poluentes atmosféricos, faz-se necessário o monitoramento de determinados parâmetros de poluentes ambientais.

O Estado do Rio de Janeiro possui o mais antigo sistema de monitoramento de poluentes atmosféricos do país (GIODA et al, 2016). Esta rede de monitoramento é constituída atualmente tanto por estações automáticas quanto semiautomáticas (VENTURA et al, 2019), sendo de responsabilidade do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) a sua operação, coleta e

validação dos dados. Existem ao todo 174 estações, sendo 58 estações automáticas e 116 semiautomáticas. A resolução CONAMA n.º 491, de 19/11/2018, dispõe sobre os padrões de qualidade do ar. Em conformidade com a legislação vigente, o INEA monitora 24 horas por dia, os seguintes parâmetros: material particulado com diâmetro aerodinâmico menor que 10 micrômetros (MP10) e menor que 2,5 micrômetros (MP2,5), partículas totais em suspensão (PTS), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e ozônio (O<sub>3</sub>). Além destes parâmetros, dependendo da estação, também são monitorados amônia, benzeno, etil-benzeno, hidrocarbonetos não-metano, hidrocarbonetos totais, meta- e para-xileno conjuntamente, metano, orto-xileno, óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), tolueno e xileno (INEA. 2022).

Barra Mansa é um município localizado na região sul do estado do Rio de Janeiro, próximo à Volta Redonda (importante polo industrial do estado, com indústrias siderúrgica e de cimentos). Apresenta uma população estimada de mais de 177 mil habitantes (IBGE, 2022), e apresenta um setor bem desenvolvido tanto do agronegócio quanto dos segmentos metalúrgico e mecânico (WIKIPEDIA, 2022). Em particular, a presença de indústrias siderúrgicas em uma região pode aumentar a concentração de determinações poluentes atmosféricos, o que impacta diretamente em políticas públicas de saúde. Desta forma, é necessário monitorar e verificar as concentrações destes poluentes. OLIVEIRA et al (2011) estudaram a relação entre a associação entre poluição atmosférica e mortes por doenças respiratórias em Volta Redonda (RJ), no período de 01/2002 a 12/2006. CARNESECA et al (2011) analisaram a associação entre material particulado e casos de nebulização em Ribeirão Preto (SP). NASCIMENTO et al (2017) analisaram o número de casos de doenças respiratórias em crianças no inverno e no verão de 2013 em Grande Vitória (ES).

**Figura 1:** Município de Barra Mansa (delimitado com a linha vermelha).



Fonte: Google Maps, 2022.



Usualmente, para comparar se diversos grupos tem a mesma distribuição, utiliza-se um teste paramétrico (a análise da variância de fator único - ANOVA) (LEVINE et al, 2016) ou então o teste de Kruskal-Wallis, um teste não-paramétrico (CONOVER, 1999). Alguns pressupostos são necessários para se empregar a ANOVA. Embora o teste de Kruskal-Wallis esteja bem estabelecido na literatura (SIEGEL, 1975), neste trabalho será empregado o teste de Van de Waerden (VAN DER WAERDEN, 1952; CONOVER, 1999).

Este teste tem a vantagem de oferecer a alta eficiência da ANOVA de fator único quando o pressuposto da normalidade é atendido (CONOVER, 1999), mas também oferece a mesma robustez do teste de Kruskal-Wallis quando este pressuposto não é atendido (CONOVER, 1999; DESHPANDE et al, 2017; FILLIBEN et al, 2015).

O objetivo deste trabalho é verificar se as regiões monitoradas apresentam o mesmo teor de MP10, através do teste de Van der Waerden e, caso haja, identificar quais diferem usando um teste post-hoc.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Base de dados**

O banco de dados foi obtido diretamente do sítio do INEA, através da página de consulta pública Dados de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia (INEA, 2022), sem necessidade de uso da Lei de Acesso à Informação. Foram selecionadas 4 estações de monitoramento automático na região Sul Fluminense, no município de Barra Mansa, a saber: Bocaininha, Roberto Silveira, SESI e Vista Alegre. Foi escolhido o parâmetro material particulado com diâmetro menor que 10 micrômetros por metro cúbico (MP10,  $\mu\text{m}/\text{m}^3$ ). O período escolhido foi o inverno de 2020 (entre 20 de junho e 22 de setembro), pois é nesta estação do ano em que há um aumento significativo de doenças respiratórias (TOMBOLATO, DE OLIVEIRA e CARDOSO, 2021). Na base de dados disponibilizada, foi utilizada somente a opção “dados válidos”. Foi empregada a média diária. A base final contém, portanto, 380 amostras (95 por estação de monitoramento).

### **Teste de Van Der Waerden**

Este é um teste de comparações de múltiplos grupos proposto originalmente por van der Waerden (1952). Sua hipótese nula é que as funções de distribuição de  $k$  populações são idênticas. Sua hipótese alternativa indica que ao menos uma das populações tende a produzir observações maiores do que pelo menos uma das outras populações (DESHPANDE et al, 2017; HOLLANDER, WOLFE e CHICKEN, 2014; FILLIBEN et al, 2015). A hipótese nula será

rejeitada, a um determinado nível de significância alfa, se o valor da estatística de teste  $T_1$  for maior que o quantil 1-alfa de uma variável aleatória qui-quadrado com grau de liberdade  $k-1$ . O teste de van der Waerden é calculado da seguinte forma (DESHPANDE et al, 2017; HOLLANDER, WOLFE e CHICKEN, 2014; CONOVER, 1999):

$$T_1 = \frac{1}{s^2} \sum_{i=1}^c n_i (\bar{A}_j)^2$$

Onde  $n_i$  é o tamanho amostral do grupo,  $s^2$  é a variância dos escores normais e  $\bar{A}_j$  é a média dos escores normais. Os escores normais, a média dos escores normais e a variância são obtidos a partir das equações a seguir (CONOVER, 1999):

$$A_{ij} = \frac{\phi^{-1}(R(x_{ij}))}{N + 1}$$

$$\bar{A}_i = \frac{1}{n_i} \sum_1^{n_i} A_{ij}$$

$$s^2 = \frac{1}{N + 1} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^{n_i} A_{ij}^2$$

Onde  $N$  é o tamanho amostral total,  $\phi^{-1}$  é a função ponto percentual normal e  $R(x_{ij})$  é o posto da observação. Este teste é comparado com um valor crítico, que segue uma distribuição qui-quadrado, com  $k-1$  graus de liberdade  $\chi^2(1 - \alpha; k - 1)$ . A hipótese nula é que as  $k$  distribuições são iguais. Caso a hipótese nula seja rejeitada, é aplicado então um teste *post hoc* para determinar qual(is) par(es) de médias difere(m). Se a diferença, em módulo, dos escores normais médios for maior que o intervalo crítico, então existe uma diferença significativa entre aqueles pares:

$$|\bar{A}_i - \bar{A}_j| > t\left(1 - \frac{\alpha}{2}, N - k\right) \sqrt{s^2 \frac{N - 1 - T_1}{N - k}} \sqrt{\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j}}$$

### Recursos computacionais

Foram utilizados os *softwares* MS-Excel (Microsoft, 2015), para preparação dos dados, e RStudio v. 1.4.1106 (RSTUDIO, 2021), para tratamento e análise. Foram empregados os pacotes stats (R CORE TEAM, 2019), ggplot2 (WICKHAM, 2016), PMCMRplus (POHLERT, 2022), readxl (WICKHAM e BRYAN, 2021) e e1071 (MEYER et al, 2021).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela a seguir sumariza medidas de tendência central, de posição, de dispersão e de formato e medidas. A menor média diária foi identificada na estação SESI, com  $1,53\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ao passo que a maior média diária foi observada na estação Vista Alegre, com  $100,07\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Em todas as estações foram observadas uma alta dispersão de dados, conforme resultados obtidos com os coeficientes de variação. A maior amplitude interquartílica foi observada na estação SESI.

**Tabela 1:** Sumário estatístico do parâmetro MP10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), nas quatro estações de monitoramento automático do INEA em Barra Mansa/RJ, referentes ao inverno de 2020.

<b>Estatística</b>	<b>Bocaininha</b>	<b>Roberto Silveira</b>	<b>SESI</b>	<b>Vista Alegre</b>
Mínimo	14,38	5,38	1,53	6,28
1º quartil	28,25	16,39	16,76	36,06
Média	36,00	26,40	44,33	44,71
Mediana	39,19	31,63	42,26	46,81
3º quartil	50,16	37,81	56,40	55,40
Máximo	79,68	86,17	96,62	100,07
Desvio-padrão	14,53	19,78	25,64	15,68
Assimetria	0,62	1,10	0,17	0,40
Curtose	-0,08	0,39	-0,82	0,90
Coef. de variação	37,08	62,51	60,68	33,49
AIQ	21,91	21,42	39,64	19,33

Fonte: Os autores, 2022.

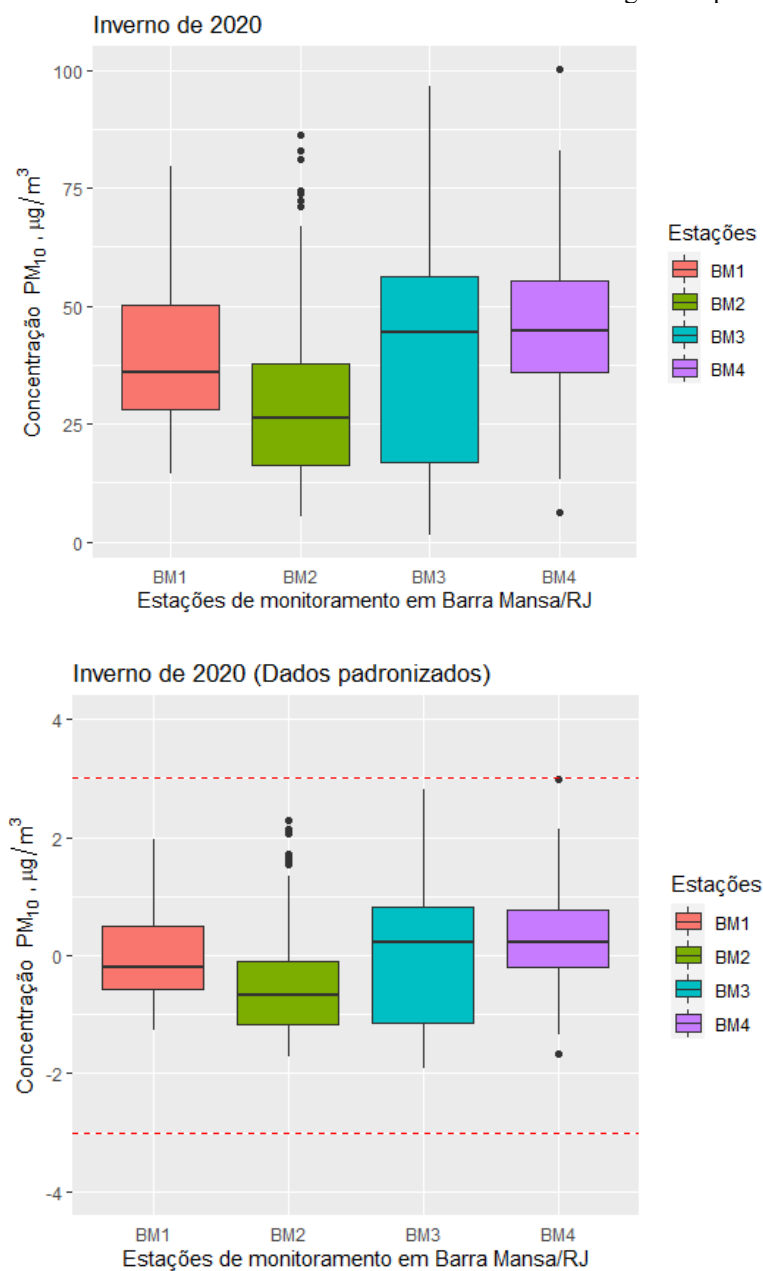
A assimetria das estações SESI e Vista Alegre são aproximadamente simétricas,  $-0,5 \leq \Gamma_1 \leq +0,5$ , enquanto que a estação Roberto Silveira apresenta uma alta assimetria positiva,  $\Gamma_1 > 1,0$  (JOANES e GILL, 1998).

As curtoses amostrais (JOANES e GILL, 1998) foram leptocúrticas para Roberto Silveira e Vista Alegre,  $\Gamma_2 > 0$ , enquanto que para Bocaininha e SESI foram platicúrticas,  $\Gamma_2 < 0$ .

A seguir são mostrados os gráficos de caixas com os dados originais (superior) e padronizados (inferior), onde BM1, BM2, BM3 e BM4 são, respectivamente, as estações Bocaininha, Roberto Silveira, SESI e Vista Alegre. De acordo com a resolução CONAMA 491/2018, que adota o padrão de qualidade em 24 horas da OMS, no valor de  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ , observa-se que as medianas estão abaixo do valor especificado, entretanto, com máximos acima. O gráfico inferior mostra que as estações Roberto Silveira e Vista Alegre apresentaram, respectivamente, 8 e 2 valores suspeitos, porém, apenas a última teve um valor suspeito extremo

(MONTGOMERY e RUNGER, 2009, p. 129; BORGES, 2006), de valor padronizado 3,40. Os demais ficarem dentro do intervalo  $\pm 3,0$ .

**Figura 2:** Médias diárias de MP10 no inverno de 2020: Dados originais e padronizados.



**Fonte:** Os autores, 2022.

Foram empregados dois testes de verificação de aderência à distribuição normal: Shapiro-Wilk e Jarque-Bera. O teste de Shapiro-Wilk utilizado foi com a modificação de Royston (1992), pois nosso tamanho amostral era maior que 50. O teste de Jarque-Bera também foi usado por considerar, em sua estrutura, a assimetria e a curtose dos dados. Foi adotado um nível de significância  $\alpha = 0,05$ , sob a hipótese nula de que os dados seguem a distribuição normal, com média  $\mu$  e variância  $\sigma^2$ . Embora o R não forneça, no pacote stats, os valores

críticos da distribuição de Shapiro-Wilk, ele fornece o valor-p (mostrado entre parênteses na tabela), que pode ser usado para rejeitar a hipótese nula caso o valor dele seja menor que o nível de significância adotado previamente. BAKER (2016) chamou a atenção para o uso indiscriminado do valor-p em análises, entretanto neste trabalho o tamanho amostral é grande o suficiente. Os resultados são mostrados na tabela a seguir:

**Tabela 2:** Resultados dos testes de normalidade, com valor-p exibido entre parênteses.

<b>Estatística</b>	<b>Bocaininha</b>	<b>Roberto Silveira</b>	<b>SESI</b>	<b>Vista Alegre</b>
Shapiro-Wilk	0,96 (0,003)	0,89 (5,829e-07)	0,96 (0,003)	0,98 (0,348)
Jarque-Bera	5,974 (0,050)	18,791 (8,309e-05)	3,272 (0,195)	4,938 (0,085)

**Fonte:** Os autores, 2022.

Ambos os testes indicaram que os dados de poluição por MP10 na estação Roberto Silveira não segue a distribuição normal. As estações Bocaininha e SESI apresentaram mostraram que, enquanto pelo teste de Shapiro-Wilk a normalidade era rejeitada, pelo teste de Jarque-Bera não. Ambos os testes mostraram que os dados de poluição, na estação Vista Alegre, segue a distribuição normal. Como um dos grupos apresentou um desvio da normalidade, isto seria um impeditivo para utilizar a ANOVA de fator único (Levine et al, 2008), embora Fonseca-Hernández et al (2018) tenham usado (mas sem mostrar o resultado do teste de normalidade). Uma alternativa não-paramétrica, o teste de Kruskal-Wallis, tem sido usado em alguns trabalhos, como ZHAO et al (2018), MURA et al (2010) e FONSECA-HERNÁNDEZ (2018) enquanto que a ANOVA com correção de Welch foi usada por THIMMERGOWDA et al (2020).

Embora o teste F da ANOVA seja robusto em relação à desvios da normalidade (LEVINE et al, 2016), a homocedasticidade é um pressuposto que deve ser avaliado. Foi utilizado o teste de Levene modificado por BROWN & FORSYTHE (1974). Sob a hipótese nula de que as variâncias eram iguais, ou seja, homocedásticas, o valor da estatística do teste foi 11,062, com valor crítico  $F(3,376) = 2,629$  e valor-p =  $5,64e-7$ . Os dados são heterocedásticos.

O teste de van der Waerden foi aplicado. Sob a hipótese nula de que as populações tinham funções de distribuição idênticas, a estatística do teste foi  $T_1 = 28,92791$ , com um valor crítico  $\chi^2(1 - \alpha; k - 1) = \chi^2(1 - 0,05; 4 - 1) = 7,814728$ . Como o valor calculado foi maior que o valor crítico, a hipótese nula de igualdade das distribuições foi rejeitada.

A tabela a seguir mostra o resultado das  $k(k - 1)/2$  comparações múltiplas entre as estações, em módulo, o intervalo crítico, e o valor-p ajustado, através do método de Benjamini-

Hochberg (1995), usado para o controle da taxa de descoberta falsa. Os escores normais médios de Bocaininha, de Roberto Silveira, do SESI e de Vista Alegre são dados por  $\bar{A}_1$ ,  $\bar{A}_2$ ,  $\bar{A}_3$  e  $\bar{A}_4$ , respectivamente.

**Tabela 3:** Diferença em módulo dos escores médios normais, intervalo crítico e valor-p ajustado pelo método de Benjamini-Hochberg.

$ \bar{A}_i - \bar{A}_j $	$t\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{s^2 \frac{N-1-T_1}{N-k} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j}\right)}$	valor-p ajustado
$ \bar{A}_1 - \bar{A}_2  = 0,4094113$	0,2719382	0,0065
$ \bar{A}_1 - \bar{A}_3  = 0,04302732$	0,2719382	0,7559
$ \bar{A}_1 - \bar{A}_4  = 0,3573398$	0,2719382	0,0152
$ \bar{A}_2 - \bar{A}_3  = 0,4524386$	0,2719382	0,0035
$ \bar{A}_2 - \bar{A}_4  = 0,7667510$	0,2719382	3,3e-07
$ \bar{A}_3 - \bar{A}_4  = 0,3143124$	0,2719382	0,0283

Fonte: Os autores, 2022.

Através dos resultados obtidos na tabela 3, observa-se que não havia diferença entre as estações Bocaininha e Roberto Silveira (valor-p ajustado = 0,7559), entretanto, as demais comparações pareadas mostraram que havia diferença significativa ao nível de significância  $\alpha = 0,05$ . As comparações entre os teores de MP10 nas estações Bocaininha e Vista Alegre e SESI e Vista Alegre não foram significativas ao nível de significância  $\alpha = 0,01$ .

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego do teste de van der Waerden, seguido por um teste *post hoc* e a correção do valor-p pelo método de Benjamini-Hochberg, mostrou-se adequado para verificar se o teor de material particulado MP10, durante o inverno de 2020 apresentava diferença ou não nas quatro estações de monitoramento automático do INEA. A estação de monitoramento Roberto Silveira apresentou as menores médias e medianas diárias de MP10, apesar de suas forte assimetria positiva e valores atípicos. Todas as medianas das médias diárias estiveram abaixo de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , embora algumas as médias diárias tenham ultrapassado os  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  do padrão final de qualidade do ar previstos na resolução CONAMA 491/2018. A estação Vista Alegre apresentou a maior contagem de médias diárias de MP10 acima de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , com 37 dias, seguido das estações SESI (34 dias), Bocaininha (24 dias) e Roberto Silveira (18 dias). A questão ambiental está ligada intrinsecamente ao desenvolvimento econômico. Ações coordenadas entre as prefeituras de Barra Mansa e de municípios contíguos devem ser executadas, para alcançar uma qualidade do ar final abaixo do limite anual de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,

estabelecido pela Resolução CONAMA 491/2018, sem impactar o desenvolvimento socioeconômico dessas regiões.

## AGRADECIMENTOS

ICAL agradece a Fundação Carlos Chagas de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pela bolsa de pós-doutorado Nota 10. YDP agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de doutorado.

## REFERÊNCIAS

BAKER, M. Statisticians issue warning over misuse of P values. **Nature**, v. 531, p. 151-151, 2016.

BENJAMINI, Y.; HOCHBERG, Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 57, p. 289-300, 1995.

BORGES, R. M. H. Introdução à validação de métodos. **Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO)**, 09/05/2006. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/palestras/renata%20borges.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2022.

BRASIL. **Resolução CONAMA n.º 491**, de 19/11/2018. Dispõe sobre os padrões de qualidade do ar no Brasil. Disponível em: [https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-491-2018\\_369516.html](https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-491-2018_369516.html). Acesso em: 30 abr. 2022.

BROWN, M. B.; FORSYTHE, A. B. Robust tests for equality of variances. **Journal of the American Statistical Association**, v. 69, n. 346, p. 364-367, 1974.

CARNESECA, E. C.; ACHCAR, J. A.; MARTINEZ, E. Z. Association between particulate matter air pollution and monthly inhalation and nebulization procedures in Ribeirão Preto, São Paulo State, Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 28, n. 8, p. 1591-1598, 2012.

CONOVER, W. J. **Practical nonparametric statistics**, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1999.

DESHPANDE, J. V.; NAIK-NIMBALKAR, U.; DEWAN, I. **Nonparametric statistics: theory and methods**. New Jersey: World Scientific, 2017.

FILLIBEN, J. J.; HECKERT, A.; LIPMAN, R. R. **NIST Dataplot**: Van der Waerden. National Institute of Standards and Technology (NIST), 2015. Disponível em: <https://www.itl.nist.gov/div898/software/dataplot/refman1/auxillar/vanderwa.htm> Acesso: 02 fev. 2022.

FONSECA-HERNÁNDEZ, M.; TERESHCHENKO, I.; MAYOR, Y. G.; FIGUEROA-MONTAÑO, A.; CUESTA-SANTOS, O.; MONZÓN, C. Atmospheric Pollution by PM10 and O3 in the Guadalajara Metropolitan Area, Mexico. **Atmosphere**, v. 9, n. 243, p. 1-21, 2018.

GIODA, A.; VENTURA, L. M. B.; RAMOS, M. B.; SILVA, M. P. R. Half century monitoring air pollution in a megacity: a case study of Rio de Janeiro. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 227, n. 86, p. 1-17, 2016.

HOLLANDER, M.; WOLFE, D. A.; CHICKEN, E. **Nonparametric statistical methods**, 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Barra Mansa**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/barra-mansa/panorama>. Acesso em: 30 abr. 2022.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). **Dados do Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia**. Disponível em: <http://200.20.53.25/qualiar/Home/Index>. Acesso em: 21 ago. 2021.

JOANES, D. N.; GILL, C. A. Comparing measures of sample skewness and kurtosis. **The Statistician**, v. 47, n. 1, p. 183–189, 1998.

LEVINE, D. M.; STEPHAN, D. F.; KREHBIEL, T. C.; BERENSON, M. L. **Estatística: teoria e aplicações usando o Microsoft Excel em português**, 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

LEVINE, D. M.; STEPHAN, D. F.; SZABAT, K. A. **Estatística: teoria e aplicações usando o Microsoft Excel em português**, 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MEYER, D.; DIMITRIADOU, E.; HORNIK, K.; WEINGESSEL, A.; F. LEISCH, F. **e1071: Misc functions of the department of statistics, probability theory group**, 2021. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=e1071>. Acesso em: 01 fev. 2022.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**, 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MURA, M. C.; FELICE, M.; MORLINO, R.; FUSELLI, S. Short-term monitoring of benzene air concentration in an urban area: a preliminary study of application of Kruskal-Wallis non-parametric test to assess pollutant impact on global environment and indoor. **Annali dell'Istituto Superiore di Sanità**, v. 46, n. 4, p. 444-450, 2010.

NASCIMENTO, A. P.; SANTOS, J. M.; MILL, J. G.; SOUZA, J. B.; REIS JÚNIOR, N. C.; REISEN, V. A. Association between the concentration of fine particles in the atmosphere and acute respiratory diseases in children. **Revista de Saúde Pública**, v. 51, n. 3, p. 1-10, 2017.

OLIVEIRA, M. S.; LEON, A. P.; MATTOS, I. E.; KOIFMAN, S. Differential susceptibility according to gender in the association between air pollution and mortality from respiratory diseases. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 27, n. 9, p. 1827-1836, 2011.

POHLERT, T. **PMCMRplus: Calculate Pairwise Multiple Comparisons of Mean Rank Sums Extended**, 2022. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=PMCMRplus>. Acesso em: 01 fev. 2022.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 02 jan. 2022.



ROYSTON, J. P. Approximating the Shapiro-Wilk W-test for non-normality, **Statistics and Computing**, v. 2, p. 117-119, 1992.

SIEGEL, S. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

THIMMERGOWDA, G. G. et al. A field-based quantitative analysis of sublethal effects of air pollution on pollinators. **PNAS**, v. 117, n. 34, p. 1-9, 2020.

TOMBOLATO, M. M.; OLIVEIRA, J. B.; CARDOSO, C. A. L. Epidemiological analysis of respiratory diseases between 2015 to 2020 in brazilian territory. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 7, p. e46610716819, 2021.

VAN DER WAERDEN, B. L. Order tests for the two-sample problem and their power. **Indagationes Mathematicae**, v. 14, p. 453–458, 1952.

VENTURA, L. M. B.; RAMOS, M. B.; GIODA, A.; FRANÇA, B. B.; GODOY, J. M. O. Air quality monitoring assessment during the 2016 Olympic Games in Rio de Janeiro, Brazil. **Environ. Monit. Assess**, v. 191, n. 369, p. 1-14, 2019.

WICKHAM, H.; BRYAN, J. **readxl**: Read Excel files, 2022. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=readxl>. Acesso: 02 fev. 2022.

WICKHAM, H. **ggplot2**: Elegant graphics for data analysis. Springer-Verlag New York, 2016.

ZHAO, X.; GAO, Q; SUN, M.; XUE, Y.; MA, R.; XIAO, X.; AI, B. Statistical analysis of spatiotemporal heterogeneity of the distribution of air quality and dominant air pollutants and the effect factors in Qingdao urban zones. **Atmosphere**, v. 9, n. 135, p. 1-19, 2018.

# CAPÍTULO 17

## CARGA DE VENTO ATUANTE EM ESTUFA AGRÍCOLA COM COBERTURA EM ARCO

**Carlos Alexandre da Conceição**  
**José Gabriel Vieira Neto**

### RESUMO

Diante dos recorrentes problemas causados pelo vento nas estufas localizadas no município de Alegrete, foi realizado um estudo sobre a carga atuante em uma estrutura de uma estufa agrícola, localizada especificamente no Campus da Universidade Federal do Pampa, que possui avarias no plástico causadas pela ação do vento, buscando verificar, desta forma, os esforços solicitantes devido às ações do vento, de acordo com as normas brasileira de ações do vento nas estruturas - ABNT NBR 6123 (1988) e a norma específica de estufas agrícolas - ABNT NBR 16032 (2012). Com isso, foram analisadas características da construção já instalada, métodos construtivos, situação de sua implantação no local e aspectos do clima e terreno local. Foram realizados estudos e a análise da estrutura da estufa agrícola em arco, encontrando a pressão de obstrução, a partir da velocidade característica, o que possibilitou verificar os coeficientes de pressão total, compostos pelo coeficiente de pressão interna e coeficientes de pressão externo, de acordo com as normas, a fim de realizar a comparação dos resultados encontrados. Foi possível verificar que a norma ABNT NBR 6123 (1988) resultou em valores de carga final maiores em relação a NBR 16032 (2012), na maioria dos pontos, chegando a  $531 \text{ kgf.m}^{-1}$  em locais específicos do telhado da estufa (para vento oblíquo), enquanto a norma específica de estufas resultou em aproximadamente  $372 \text{ kgf.m}^{-1}$  para mesma região.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cultivo protegido, ação do vento, estruturas, construções rurais.

### INTRODUÇÃO

A norma de estufas agrícolas no Brasil ABNT NBR (16032) foi publicada no final do ano de 2012, entrando em vigência com a normatização da fabricação de estufas no país. A norma brasileira foi elaborada tendo por base a norma Europeia EN 13031-1 (2001). Em 2019, a norma europeia foi atualizada, passando a ser vigente como EN 13031-1 (2019). Anteriormente a publicação da norma específica de estufas no Brasil, os projetistas tinham que ter base outras normas em conjunto, como a ABNT NBR 6123 (1988) para ação dos ventos, a ABNT NBR 8800 (2008) para estruturas metálicas, a ABNT NBR 6118 (2014) para estruturas de concreto, e outras, conforme especificidade dos materiais construtivos.

Pesquisadores nacionais têm buscado estudar a aplicação da norma ABNT NBR 16032 (2012), com base em modelos fabricados em âmbito nacional e pela experiência de fabricantes no país. Os estudos sugerem que os projetos praticados no Brasil devem ser otimizados, tendo

em vista a diferença climática e particularidades construtivas do país em relação a Europa (VIEIRA NETO; SORIANO, 2020, p.2).

A tecnologia empregada nestas estruturas está em fase de expansão e, com isso, tornam-se necessários estudos que criem melhorias que facilitem na identificação de problemas, desde a fase de projeto, execução, até o uso destas estruturas pelos produtores rurais. Cada vez mais tecnologia de alto custo está sendo empregada no interior destas estufas, e assim, se faz necessário ter segurança estrutural, para garantir o funcionamento dos equipamentos, bem como otimização na produção agrícola.

Neste sentido, objetivou-se com este trabalho analisar os esforços causados pelo vento em uma estufa agrícola, verificando os coeficientes aerodinâmicos obtidos pelas normas ABNT NBR 6123 (1988) e ABNT NBR 16032 (2012), visando a comparação dos resultados entre as normas.

## REFERENCIAL TEÓRICO E METODOLÓGICO

### Ação do vento nas estufas

O vento que age nas construções civis é obtido por meio de tratamentos estatísticos, dependendo da posição geográfica em uma determinada região do país, apresentado de forma gráfica pela norma ABNT NBR 6123 (1988). A partir destes dados, e, com uma combinação de fatores e coeficientes aerodinâmicos podemos encontrar os esforços atuantes, através da ABNT NBR 6123 (1988) e/ou ABNT NBR 16032 (2012), sendo esta última, específica para projetos de estufas agrícolas.

### Considerações da ABNT NBR 6123/1988

Nos itens a seguir, apresenta-se a sequência de cálculo para determinação dos esforços solicitantes devido às ações estáticas do vento, de acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora de ações do vento nas estruturas, ABNT NBR 6123 (1988).

### Velocidade característica do vento, $V_k$

Em conformidade com a ABNT NBR 6123 (1988), a velocidade característica do vento é determinada a partir da velocidade básica do vento  $V_0$ , correspondente à localização geográfica de estrutura a ser construída a estrutura. Esta é multiplicada pelos fatores  $S_1$  (fator topográfico),  $S_2$  (fator de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno) e  $S_3$  (fator estatístico) para que possa então obter a velocidade característica do vento,  $V_k$  (m/s), (Equação 1):

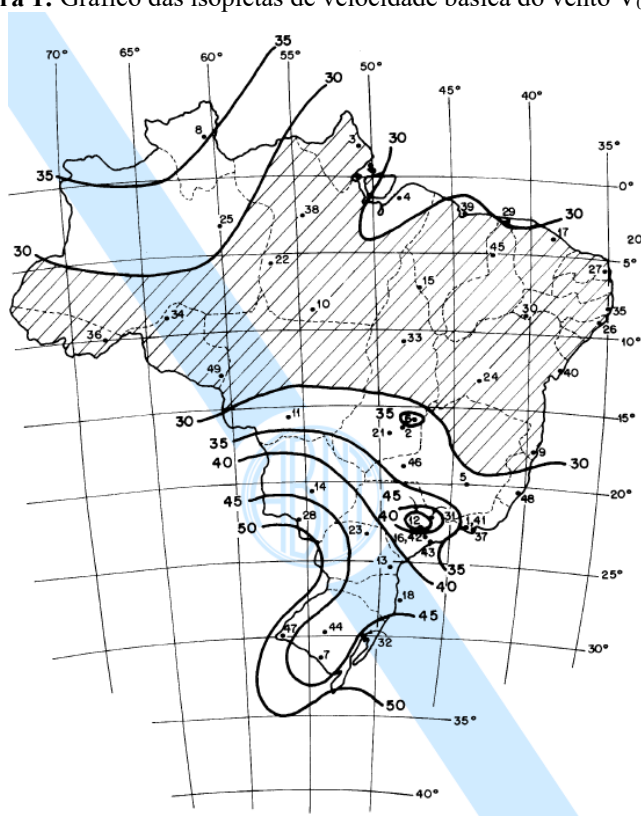
$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3 \quad (\text{equação 1})$$

Estes fatores são empregados de modo a adequar o valor da velocidade básica do vento, medida a partir de dados históricos de estações meteorológicas aeroportuárias, com a velocidade que provavelmente atuará na estrutura e questão.

### Velocidade básica do vento, $V_0$

Esta velocidade básica corresponde à máxima velocidade média de uma rajada de três segundos de duração, excedida em média uma vez a cada 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano. Adequada ao local onde a estrutura será construída, em referência a valores medidos próximo à região, a velocidade básica,  $V_0$  (m/s), é determinada de acordo com o gráfico das isopleias (Figura. 1).

Figura 1: Gráfico das isopleias de velocidade básica do vento  $V_0$  (m/s).



Fonte: ABNT NBR 6123/1988 (ABNT, p.6).

### Fator topográfico, $S_1$

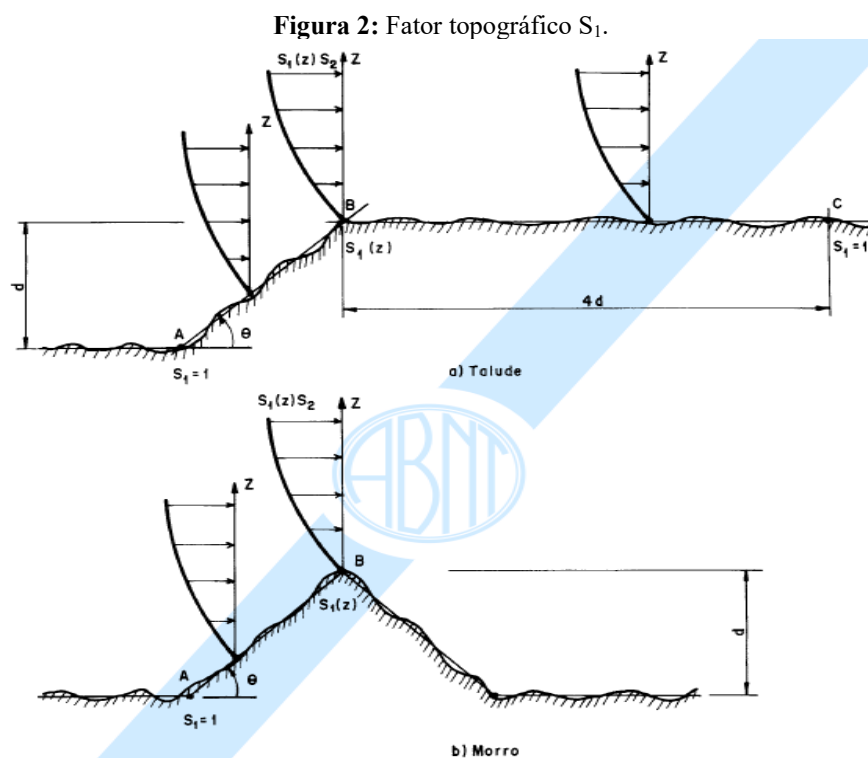
De acordo com a ABNT NBR 6123 (1988) (p.5), o fator topográfico  $S_1$  leva em consideração as características do relevo do terreno e é determinado em conformidade com as seguintes hipóteses:

- Terrenos planos ou fracamente acidentados:  $S_1 = 1$ ;
- Taludes e morros, necessário verificar  $S_1$ , onde:

Admitem-se as seguintes aproximações de incidência de ventos em fluxo de ar bidimensional (Fig. 2):

-  $S_1 = 1,0$  em pontos correspondentes ao pé de talude ou morro, ponto A, e no topo do talude a uma distância da crista superior a 4 vezes a dimensão da diferença de nível entre a base e o topo ( $d$ ), ponto C, conforme ilustrado.

-  $S_1 = 1,0$  é dado em função da altura  $z$ , medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado, quando situado as possibilidades de inclinação do talude ou encosta do morro ( $\theta$ ) e a diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro ( $d$ ).



Fonte: ABNT NBR 6123/1988 (ABNT, p.7).

Se:  $\theta \leq 3^\circ$ , então:  $S_1(z) = 1,0$ ;

Se:  $6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ$ , então:

$$S_1(z) = 1,0 + (2,5 - \frac{z}{d}) \operatorname{tg}(\theta - 3^\circ) \geq 1$$

Se:  $\theta \leq 45^\circ$ , então:

$$S_1(z) = 1,0 + (2,5 - \frac{z}{d}) 0,31 \geq 1$$

O fator  $S_1$  para os ângulos compreendidos entre  $3^\circ < \theta < 6^\circ$  e  $17^\circ < \theta < 45^\circ$  é obtido mediante interpolação linear. Entre os pontos A e B (morros e taludes) e B e C (taludes), idem.

c) Valores profundos, protegidos de ventos de qualquer direção:  $S_1 = 0,9$ .

Os valores indicados para os itens b) e c) constituem uma primeira aproximação e devem ser utilizadas com precauções. A ABNT NBR 6123 (1988) (p.5) recomenda:

Se forma necessário um conhecimento mais preciso da influência de relevo, ou se a aplicação destas indicações se torna difícil pela complexidade do relevo, é recomendado o recurso a ensaios de modelos topográficos em túnel de vento ou as medidas anemométricas no próprio terreno.

### **Fator de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre terreno, $S_2$**

O fator  $S_2$  é dado pela combinação de efeitos da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação, ou parte da edificação em consideração, e da variação da velocidade do vento com a altura relativa acima do terreno.

A ABNT NBR 6123 (1988) (p.8) classifica a rugosidade do terreno em cinco categorias, destacadas a seguir:

Categoria I: Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 Km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente.

[...]

Categoria II: Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas.

[...]

A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1,0 m.

Categoria III: Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas.

[...]

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3,0 m.

Categoria IV: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizados.

[...]

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10,0 m.

Esta categoria também inclui zonas com obstáculos maiores e que ainda não possam ser consideradas na categoria V.

Categoria V: terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados.

[...]

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25 m.

Em relação às dimensões da edificação tem-se as classes de edificação A, B e C, que determinam os intervalos de tempo de 3, 5 e 10 segundos, respectivamente, para o cálculo da velocidade média. De acordo com Blessman (1989), à medida que aumenta a distância abrangida pela rajada, aumenta o intervalo de tempo a usar no cálculo da velocidade e, conseqüentemente, diminui a velocidade característica do vento (pela diminuição do fator  $S_2$ ).

As classes são descritas pela ABNT NBR 6123 (1988) (p.9) como:

Classe A: Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m.

Classe B: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m.

Classe C: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 m.

Conforme a ABNT NBR 6123 (1988) (p.9), de um modo geral, é necessário considerar características ou estruturas que causem pouco a nenhuma continuidade estrutural ao longo da edificação. Os exemplos são:

- Edificações com juntas que separem a estrutura em duas ou mais partes estruturalmente independentes;
- Edificações com pouca rigidez na direção perpendicular à direção do vento e, por isso, com pouca capacidade de redistribuição de carga.

De acordo com Blessmann (1989), nestes casos a dimensão horizontal a considerar será a dimensão entre juntas de dilatação ou uma dimensão que o engenheiro estrutural definir como conveniente.

A critério do projetista, podem ser consideradas categorias de rugosidade do terreno intermediárias, interpolando-se convenientemente os valores do parâmetro meteorológico,  $b$ ,  $e$  o expoente da lei potencial de variação do fator  $S_2$ ,  $p$ , que serão descritos adiante.

Determinada a qual categoria (I a V) pertence à edificação, ou parte de edificação, bem como sua classe (A, B ou C), de acordo com suas dimensões, e conhecida à altura  $z$  acima do nível do terreno, o fator  $S_2$  pode ser determinado por meio da equação 2:

$$S_2 = b F_r (z/10)^p \quad (\text{equação 2})$$

Os parâmetros que podem determinar o fator  $S_2$  são definidos pela tabela de parâmetro meteorológico (Tabela 1). Deve-se observar que o fator de rajada  $F_r$ , segue sempre os valores referentes à categoria II. A expressão acima é aplicável até a altura  $z_g$  que define o contorno superior da camada limite atmosférico.

**Tabela 1:** Parâmetro meteorológico.

Categoria	$z_g$ (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		$F_r$	1,00	0,98	0,95
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

**Fonte:** ABNT NBR 6123/1988 (ABNT, p.9).

Na hipótese de maior dimensão, vertical ou horizontal, da superfície frontal de toda a edificação, ou de parte da edificação em estudo, exceder 80 metros, o intervalo de tempo, entre três segundos e uma hora, pode ser determinado de acordo com o Anexo A da ABNT NBR 6123 (1988) (p.42).

Para estudo de elementos de vedação, recomenda-se usar o fator  $S_2$  correspondente ao topo da edificação, ou seja, altura  $z$  correspondente à altura de toda a edificação, ou de parte da edificação em estudo. “Esta recomendação é baseada no fato de que na fachada de barlavento e nas fachadas laterais o vento é defletido para baixo, com consequente aumento de pressão dinâmica na parte inferior da edificação” (ABNT NBR 6123, 1988 - p.9).



Em casos com diferentes categorias de rugosidade do terreno e classe de dimensões de edificação definidas nesta norma, há possibilidade de se obter os valores na tabela indicada na página 10 da ABNT NBR 6123 (1988) para determinação de  $S_2$  para alturas diversas.

### Fator estatístico, $S_3$

A norma ABNT NBR 6123 (1988) indica os valores mínimos para o fator  $S_3$  (Tabela 2), baseados em conceitos estatísticos e considerando o grau de segurança requerido e a vida útil da construção ou de suas partes.

**Tabela 2:** Valores mínimos de fator estatístico  $S_3$ .

Grupo	Descrição	$S_3$
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Fonte: ABNT NBR 6123/1988 (ABNT, p.10).

Na ausência de uma norma específica sobre segurança, ou de indicações correspondentes na norma estrutural em uso, o Anexo B da ABNT NBR 6123 (1988) (p.45) apresenta valores para fator  $S_3$  para níveis de probabilidade e para outros períodos de exposição à ação do vento. Cabe ao projetista fixar a probabilidade e a vida útil de acordo com as características da construção.

### Pressão dinâmica ou de obstrução, $q$

De acordo com Wahrhaftig (2017, p.169), em condições normais de pressão (1 atm) e de temperatura (15°C), a pressão dinâmica que é exercida pela ação do vento sobre uma superfície, em  $N/m^2$ , corresponde a velocidade característica de vento  $V_k$  (m/s), determinada pela equação 3:

$$q = 0,613 V_k^2 \quad (\text{equação 3})$$

## Coeficiente de pressão e forma externa, $C_{pe}$

Os valores de coeficientes de pressão e de forma, externo, dependem da localização dos pontos de separação do fluxo, dependendo da velocidade do vento, características da turbulência, dimensões e relação entre as dimensões da edificação, curvatura da superfície e sua rugosidade. Estes coeficientes são apresentados na tabela 4 da ABNT NBR 6123 (1988) (p.14), considerando variações de pressão consideráveis, subdivididos os coeficientes dados para cada uma das partes.

De acordo com a ABNT NBR 6123 (1988) (p.51), os coeficientes de pressão são baseados em ensaios realizados em fluxo aproximadamente uniforme e de baixa turbulência, com número de Reynolds subcrítico (Tabela 3).

**Tabela 3:** Coeficientes de pressão externa  $C_{pe}$ .

$f/l_2$	$h/l_2$	$c_{pe}$ para a parte					
		1	2	3	4	5	6
1/5	0	+0,3	-0,3	-0,6	-0,7	-0,6	-0,2
	1/8	-0,5	-0,5	-0,7	-0,7	-0,5	-0,2
	1/4	-0,9	-0,6	-0,8	-0,8	-0,4	-0,2
	1/2	-1,2	-0,7	-0,9	-0,8	-0,3	-0,2
	1	-1,4	-0,8	-0,9	-0,9	-0,4	-0,4
	5	-1,8	-1,0	-1,1	-1,2	-0,8	-0,7
1/10	1/8	-1,0	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3
	1/4	-1,2	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3
	1/2	-1,5	-1,0	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3
	1	-1,6	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3

Fonte: ABNT NBR 6123/1988 (ABNT, p.51).

## Coeficiente de pressão e forma interna $C_{pi}$

Para os coeficientes de pressão interno, em condições de impermeável ao ar, a pressão no seu interior será invariável no tempo e independente da velocidade da corrente do ar externo. Por outro lado, tem-se os elementos permeáveis, que se devem à situação de possuir aberturas, tais como juntos aos painéis, telhas, frestas de ventilação, portas, janelas e outros.

De acordo com a ABNT NBR 6123 (1988) (p.12), edificações com paredes internas permeáveis, a parede pode ser considerada uniforme, devendo ser adotado os valores de  $C_{pi}$  conforme a condição da estrutura em relação ao número de vãos, aberturas e demais fatores.

## Considerações quanto a ABNT NBR 16032/2012

Neste item, apresenta-se a sequência de cálculo para determinação dos coeficientes de pressão e cálculo da carga, baseado em estufas do tipo tetos curvos e laterais construídas de dois ou mais vãos.

## Coeficiente de pressão externa $C_{pe}$

Os coeficientes de pressão externas sobre teto curvado e laterais de estufas constituídas de um só vão, com calhas e  $h/s \geq 0,2$ , estão descritos na tabela 4.

**Tabela 4:** Coeficientes de pressão externa  $C_{pe}$ .

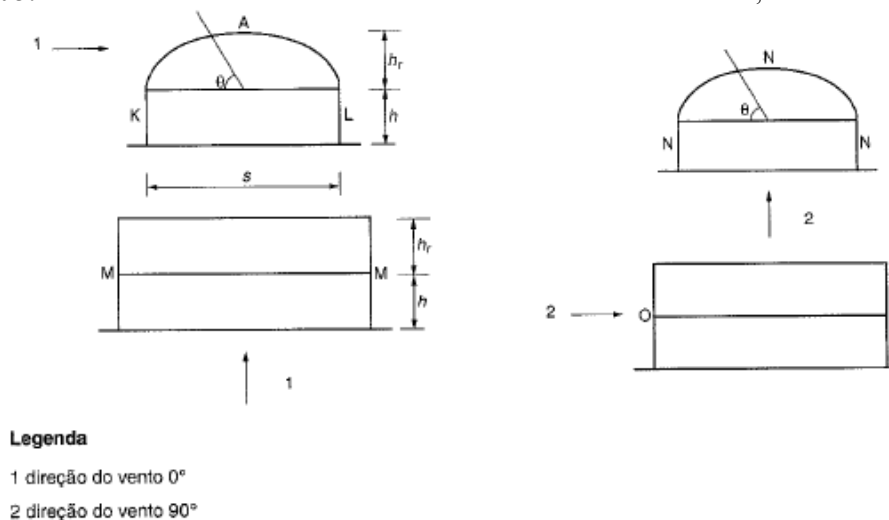
Direção do vento	Zonas	$\theta$			h/s	
		0° a 55°	55° a 115°	115° a 180°	$\leq 0,4$	$\geq 0,6$
(0°)	A	+ 0,3	- 1,0	- 0,4	-	-
	A <sup>a</sup>	+ 0,3	- 1,2	- 0,4	-	-
	K	-	-	-	+ 0,6	+ 0,6
	L	-	-	-	- 0,3	- 0,6
	M	-	-	-	- 0,3	- 0,4
(90°)	N	- 0,2	- 0,2	- 0,2	-	-
	O	+ 0,7	+ 0,7	+ 0,7	-	-
	P	- 0,3	- 0,3	- 0,3	-	-

<sup>a</sup> Para  $h_r/s < 0,2$  e cobertura de filmes sem fixação na cumeeira.

Fonte: ABNT NBR 16032/2012(ABNT, p.41).

As zonas A, K, M, N, O e P estão definidas na figura 3, constituída por um só vão, com calha  $h/s < 2$ , devendo tratar estufas sem calha, podendo ser interpolados os valores intermediários.

**Figura 3:** Zonas teto curvados e laterais de estufas constituídas de um só vão, com calha  $h/s \geq 0,2$ .



Fonte: ABNT NBR 16032/2012 (ABNT, p.33).

## Coeficiente de pressão interna $C_{pi}$

Os coeficientes de pressão interna  $C_{pi}$  para estufas com teto curvado estão descritos na tabela 5, conforme a situação e quantidade dos vãos.

**Tabela 5:** Coeficientes de pressão externa  $C_{pi}$ .

Direção do vento	um vão		Múltiplos vãos
	Fachadas laterais impermeáveis <sup>a</sup>	Fachadas ventiladas ou permeáveis <sup>b</sup>	
0°	$C_{pi} = 0,2$	$C_{pi} = 0,2$	$C_{pi} = 0,2$
	$C_{pi} = -0,4$	$C_{pi} = -0,2$ <sup>c</sup>	$C_{pi} = -0,3$
90°	$C_{pi} = 0,2$	$C_{pi} = 0,2$	$C_{pi} = 0,2$
	$C_{pi} = -0,1$	$C_{pi} = 0,0$	$C_{pi} = -0,1$

<sup>a</sup> Estufas com janelas fechadas e/ou portas em fachadas frontais, porém com fachadas laterais impermeáveis.  
<sup>b</sup> Estufas com janelas fechadas e/ou portas em fachadas frontais, porém com fachadas laterais permeáveis.  
<sup>c</sup> Caso exista ventilação permanente na cumeeira, é preciso usar  $C_{pi} = -0,3$ .

Fonte: ABNT NBR 16032/2012(ABNT, p.42).

### Coeficiente de pressão $C_p$

Após obter os valores de  $C_{pe}$  e  $C_{pi}$  que são fornecidos pela norma ABNT NBR 6123 (1988) ou pela ABNT NBR 16032 (2012), com base na tipologia instalada, pode-se calcular o Coeficiente de pressão  $C_p$  que é dado pela equação 4:

$$C_p = C_{pe} - C_{pi} \quad (\text{equação 4})$$

### Carga de vento $F$

Para definir a carga de vento  $F$ , são aplicadas variáveis, relacionadas ao vento, que estão definidas nas normas, baseada na ação do vento, resultando em uma expressão utilizada para verificação estrutural. Com base no resultado das equações tem-se o resultado da carga  $F$ , dada em  $N.m^{-1}$ , resultante da equação 5:

$$F = C_p q L \quad (\text{equação 5})$$

Onde:

$F$ : cargas [N/m];

$C_p$ : coeficiente de pressão total [ad.];

$q$ : pressão de obstrução [ $N/m^2$ ];

$L$ : distância entre pórticos [m].

## MATERIAL E MÉTODOS

### Local e estufa do estudo

Realizou-se os cálculos para estimativa da carga de vento numa estufa agrícola localizada nas dependências da Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete (Figura 4). O local está situado na fronteira oeste do Rio Grande do Sul, e possui classificação climática de Köppen, caracterizada pelo clima do tipo Cfa - Clima subtropical, com verão quente, tendo seu posicionamento global pelas coordenadas 29°79'13" de latitude e 55°76'79" de longitude. A altitude do município é de 102 metros, e possui predominância dos ventos na direção noroeste.

**Figura 4:** Estufas instaladas na Unipampa com avarias no plástico.



Fonte: O autor (2022).

A estrutura da estufa possuía 3,5 metros de altura sob a calha e altura total de 4,80 m, com vão de 7 metros e distância entre módulos de 3m, com 5 módulos, totalizando 15 metros de comprimento. A estrutura metálica de aço galvanizado foi executada com colunas 75 x 40 mm, com arcos oblongos 30 x 60 mm, e travamentos em tubos de 30 x 40 mm, fixados com tirantes em aço de 5,15 mm de diâmetro (ZANATTA ESFUFAS AGRÍCOLAS, 2014). Sua cobertura foi executada com filme agrícola difusor 150  $\mu$ m na parte superior e 125  $\mu$ m na parte lateral.

### Determinação das forças atuantes na estufa devido ação do vento

Com intuito de obter a influência do vento na estrutura da estufa, foram aplicados dois modelos de cálculo, sendo o primeiro considerando a ação do vento pela ABNT NBR 6123 (1988) e o outro considerando a ABNT NBR 16032 (2012).

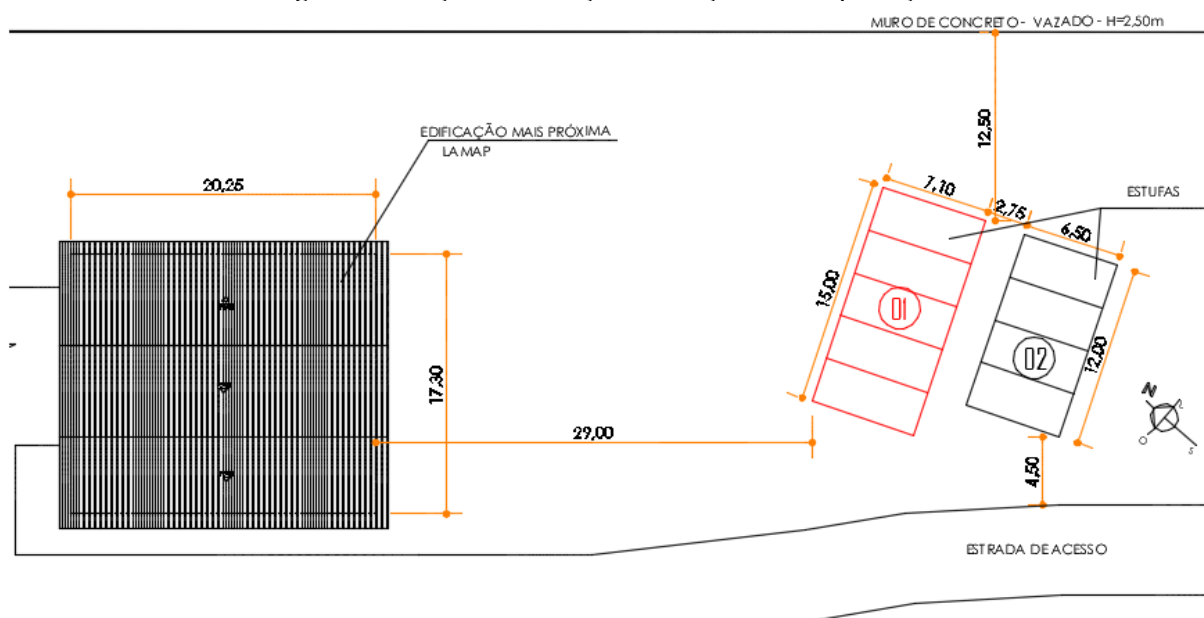
Inicialmente, foram determinadas as características da estrutura e de sua vizinhança, para que se pudesse aplicar os parâmetros de ponderação da velocidade característica do vento.

Posteriormente, foram obtidos dados da velocidade básica, os fatores de ponderação e aplicados os coeficientes de pressão para compor a velocidade característica. Assim, em posse das características obtidas, foram calculados os esforços, considerando cada norma, e os resultados foram comparados.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Elaborou-se uma planta de localização e situação (Figura 5), em relação ao local de implantação da estufa e sua circunvizinhança. Nesta figura estão representadas as duas estufas existentes no local, estando demarcado em vermelho e numerada a estufa 01, como a estrutura objeto deste estudo.

**Figura 5:** Situação e localização em relação a sua implantação.



Fonte: O autor (2022).

### Cálculos da pressão do vento

Inicialmente, obteve-se do gráfico das isopletas a velocidade básica do vento, na qual para o município de Alegrete – RS, o valor de  $V_0 = 45$  m/s. Após isso, verificou-se o fator topográfico, *in loco*, e como o terreno é plano, o valor de  $S_1 = 1,0$ .

Para o fator de rugosidade do terreno, verificou-se que, há outra estufa, menor na lateral direita, e possui um pavilhão em concreto armado à distância de 29 m a esquerda, estando no local a estrutura e outras edificações. Assim, foi considerado a categoria III e como a construção está à altura inferior a 20 m de altura, foi considerado a classe A.

Com os dados acima informados, para obter o valor mais aproximado de rugosidade, foi utilizado a equação 2. Para encontrar os valores da expressão, foi empregado valores que determina parâmetros de  $b = 1,10$  e  $p = 0,06$ , e considerando o pior caso, a altura em análise de 4,80 metros, sendo assim o cálculo de  $S_2$  pela resolução a seguir, obteve-se:

$$S_2 = 0,94 (4,80/10)^{0,10}$$

$$S_2 = 0,88$$

Para o fator estatístico em função da estufa agrícola, foi escolhido o grupo 3 da tabela 2, edificações de instalações industriais com baixo fator de ocupação, em que o valor de  $S_3 = 0,95$ . Com isso, pode-se utilizar a equação 1 para obtenção do valor característico  $V_k$  com análise da estrutura, e na sequência, obteve-se a pressão dinâmica ou de obstrução

$$V_k = 45 * 1,0 * 0,88 * 0,95$$

$$V_k = 37,62 \text{ m.s}^{-1}$$

$$q = 0,613 * 37,62^2$$

$$q = 867,55 \text{ N.m}^{-2}$$

$$q = 88,46 \text{ kgf.m}^{-2}$$

### Levantamento de cargas atuantes utilizando a ABNT NBR 6123 (1988)

Tendo como base o resultado e forma da estrutura, verificou-se o coeficiente de pressão e de forma, externos, considerando a forma da edificação, em que a tabela 2, relaciona a altura relativa. Desta forma, sabendo que  $a = 15$  e  $b = 7$ , tem-se:

$$\frac{a}{b} = \frac{15}{7,0} = 2,14$$

$$\text{Logo tem-se: } 2 \leq 2,14 \leq 4$$

Como isso, tem-se os resultados de coeficientes de pressão e forma externo para paredes laterais e frontais, apresentados na tabela 6.

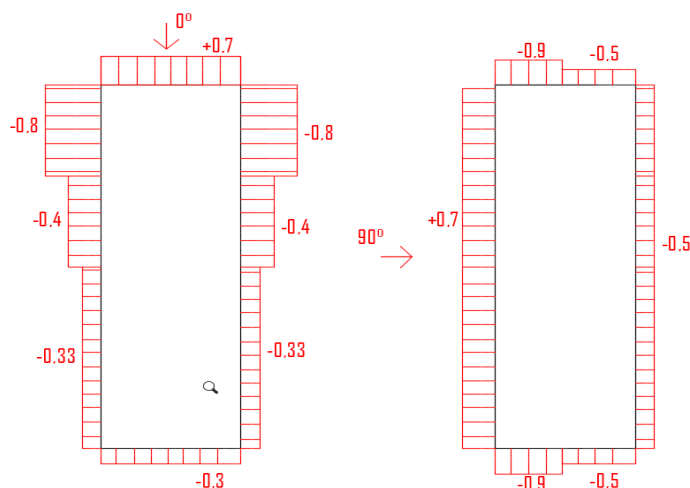
**Tabela 6:** Resultados de  $C_{pe}$  nas paredes laterais.

Valores de $C_{pe}$								$C_{pe}$ médio
Direção do Vento - $0^\circ$				Direção do Vento - $90^\circ$				
A1 e B1	A2 e B2	C	D	A	B	C1 e D1	C2 e D2	
-0.8	-0.4	0.7	-0.3	0.7	-0.5	-0.9	-0.5	-1.0

Fonte: O autor (2022).

O resultado dos coeficientes de pressão nas paredes laterais, está representado na figura 6, demonstrando seu efeito na estrutura.

**Figura 6:** Resultados de  $C_{pe}$  nas paredes laterais.



Fonte: O autor (2022).

Quanto à pressão interna  $C_{pi}$ , despreza-se a utilização de abertura dominante em qualquer face e considera-se conforme o item 6.2.5.a da ABNT NBR 6123 (1988), que é geralmente o mais utilizado para galpões e outras estruturas sem abertura exageradas, resultando nos coeficientes de pressão dos arcos, sendo:

$$C_{pi} = +0,2 \quad C_{pi} = -0,3 \text{ (adota-se o mais nocivo)}$$

Considerando o pior efeito nas paredes, e espaçamento entre vão  $L$ , igual a 3 m, sabendo que a carga do vento no local é de  $88,46 \text{ kgf.m}^{-2}$ , aplicou-se a equação 5, encontrou-se os valores apresentados na tabela 7.

**Tabela 7:** Resultados de  $CP$  e cargas de vento  $F$ , na parede.

Direção do vento	Zonas	$C_{pe}$	$C_{pi}$ (adotado mais nocivo)	$CP$	Distância entre Pórticos - $L$ (m)	Carga de vento $F$ (kgf/m)
$(0^\circ)$	A1 e B1	-0.8	-0.3	-1.1	3	-291.92
	A2 e B2	-0.4	-0.3	-0.7	3	-185.77
	C	0.7	0.2	0.9	3	238.84
	D	-0.3	-0.3	-0.3	3	-79.61
$(90^\circ)$	A	0.7	0.2	0.9	3	238.84
	B	-0.5	-0.3	-0.8	3	-212.30
	C1 e D1	-0.9	-0.3	-1.2	3	-318.46
	C2 e D2	-0.5	-0.3	-0.8	3	-212.30

Fonte: O autor (2022).

Quanto à cobertura, foi necessário verificar os coeficientes aerodinâmicos, de acordo com o anexo E da ABNT NBR 6123 (1988), onde tem-se:

$$\frac{f}{l^2} = \frac{1,3}{7} = 0,18 \text{ (1/5)} \quad \text{e} \quad \frac{h}{l^2} = \frac{3,5}{7} = 0,07 \text{ (1/2)}$$



A partir disso, determinou-se os valores aerodinâmicos, que estão apresentados na tabela 8, com sua forma de distribuição dos coeficientes de pressão externo atuando sobre a cobertura.

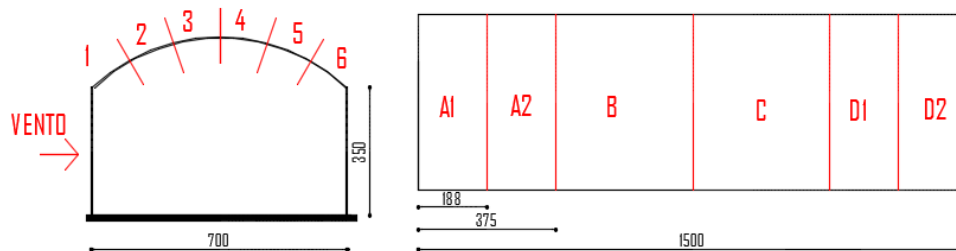
**Tabela 8:** Resultados de  $C_{pe}$  da cobertura.

Valores de $C_{pe}$										Vento oblíquo	
Direção do vento - 90°						Direção do vento - 0°					
1	2	3	4	5	6	A1 e B1	B	C	D1 e D2	A1	A2
-1.2	-0.7	-0.9	-0.8	-0.3	-0.2	-0.8	-0.3	-0.3	-0.2	-1.8	-1.8

Fonte: O autor (2022).

O resultando dos coeficientes de pressão na cobertura, está representado na figura 7, demonstrando seu efeito na estrutura.

**Figura 7:** Resultados de  $C_{pe}$  na cobertura.

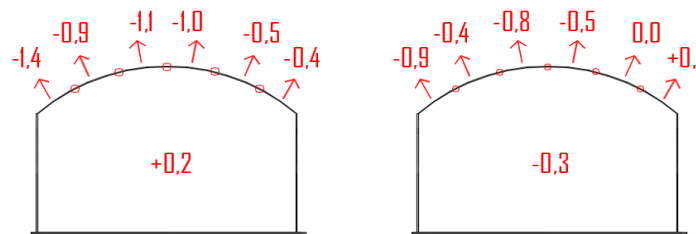


Fonte: O autor (2022).

Para o cálculo da pressão interna  $C_{pi}$ , realizado conforme o item 6, da ABNT NBR 6123 (1988), onde para efeito de cálculo da estrutura utilizada, desprezou-se a utilização de abertura dominante em qualquer face e considera-se conforme o item 6.2.5.a da ABNT NBR 6123 (1988), que é geralmente o mais utilizado para galpões e outras estruturas sem abertura exageradas, resultando nos coeficientes de pressão dos arcos, apresentados na figura 8.

$$C_{pi} = +0,2 \quad C_{pi} = -0,3 \quad (\text{adota-se o mais nocivo})$$

**Figura 8:** Situações de  $C_{pi}$  e  $C_{pe}$  nos arcos (cobertura).



Fonte: Do autor (2022).

Após as análises de  $C_{pe}$  e  $C_{pi}$ , pode-se verificar, a partir das piores situações as cargas de vento atuantes nesta estrutura. Para fins de  $C_{pi}$ , verificou-se o mais nocivo na estrutura, ser

a primeira situação, com valor +0,2, resultando nos resultados de carga apresentada na tabela 9.

**Tabela 9:** Resultados de CP e cargas de vento F, na cobertura.

Direção do vento	Zonas	C <sub>pe</sub>	C <sub>pi</sub>	CP	entre Pórticos -	Carga de vento F (kgf/m)
(0°)	A1 e B1	-0,8	0,2	-1,0	3	-265,38
	B	-0,3	0,2	-0,5	3	-132,69
	C	-0,3	0,2	-0,5	3	-132,69
	D1 e D2	-0,2	0,2	-0,4	3	-106,15
(90°)	1	-1,2	0,2	-1,4	3	-371,53
	2	-0,7	0,2	-0,9	3	-238,84
	3	-0,9	0,2	-1,1	3	-291,92
	4	-0,8	0,2	-1,0	3	-265,38
	5	-0,3	0,2	-0,5	3	-132,69
	6	-0,2	0,2	-0,4	3	-106,15
VENTO OBLIQUO	A1	-1,8	0,2	-2,0	3	-530,76
	D1	-1,8	0,2	-2,0	3	-530,76

Fonte: O autor (2022).

Verificou-se com os resultados da tabela 9 um acréscimo na pressão resultante pela carga do vento, na região mais próxima a cumeeira, sendo que para efeitos de cálculo, os coeficientes obtidos com o vento oblíquo são os mais nocivos e resultam nos maiores valores de carga de vento.

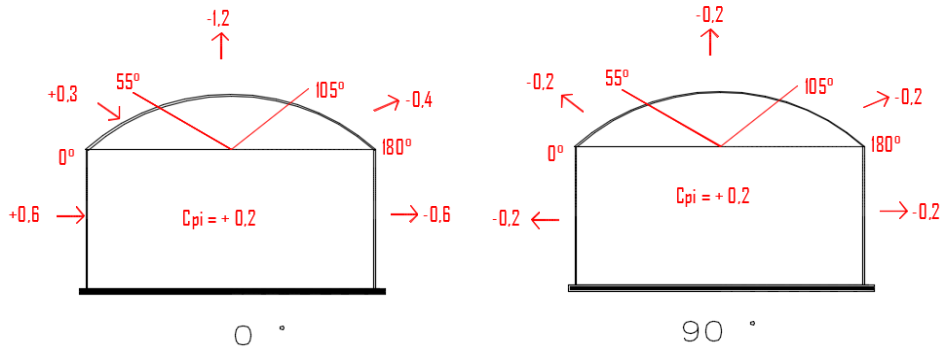
### Levantamento de cargas atuantes considerando a ABNT NBR 16032 (2012)

Considerando a ABNT NBR 16032 (2012), pode-se determinar os coeficientes de pressão e cálculo da carga, baseado em estufas do tipo tetos curvos e laterais construídas de dois ou mais vãos, conforme apresentado na figura 9. Considerando o teto curvo e laterais de estufas constituídas de dois ou mais vãos, utilizou-se as expressões:

$$\frac{h}{s} = \frac{350}{700} = 0,50 \quad e \quad \frac{h_r}{s} = \frac{130}{700} = 0,18$$

Como  $h/s \geq 0,2$  e  $h_r/s < 0,2$ , os coeficientes pressão externa C<sub>pe</sub>, sobre tetos curvados e laterais de estufas com um só vão, foram utilizados os coeficientes apresentados na figura 9.

**Figura 9:** Situações de  $C_{pi}$  e  $C_{pe}$  nos arcos (cobertura).



Fonte: O autor (2022).

Sendo assim, o pior efeito do vento, com esta análise, considerando o espaçamento entre vão ( $L$ ) igual a 3 m, sabendo que a carga do vento no local é de  $88,46 \text{ kgf.m}^{-2}$ , aplica-se a equação 5, resultando na tabela 10.

**Tabela 10:** Resultados de CP e cargas de vento F.


Direção do vento	Zonas	$\theta$	$C_{pe}$	$C_{pi}$	CP	Distancia entre Pórticos - L (m)	Carga de vento F (kgf/m)
(0°)	A <sup>a</sup>	0° A 55°	0,3	0,2	0,1	3	26,54
		55° A 115°	-1,2	0,2	-1,4	3	-371,53
		115° A 180°	-0,4	0,2	-0,6	3	-159,23
	K	-	0,6	0,2	0,4	3	106,15
	L	-	-0,6	0,2	0,8	3	212,30
M	-	-0,4	0,2	-0,6	3	-159,23	
(90°)	N	0° A 55°	-0,2	0,2	-0,4	3	-106,15
		55° A 115°	-0,2	0,2	-0,4	3	-106,15
		115° A 180°	-0,2	0,2	-0,4	3	-106,15

Fonte: Do autor (2022).

### Discussões sobre resultados obtidos pela ABNT NBR 6123 (1988) e ABNT NBR 16032 (2012)

Conforme Vieira Neto & Soriano (2020) a estufa sofre mudança na sua forma devido aos deslocamentos impostos pela ação do vento, mas não demonstra variações relevantes nos coeficientes de pressão das zonas de parede, conforme verificado na Tabela 7. Contudo, destaca efeitos de deslocamento muito significativos ao longo da extensão do arco da cobertura, com grande redução dos coeficientes de pressão principalmente nas proximidades da cumeeira.

Desta forma, ao analisar os resultados na cobertura, foi possível verificar diferenças nos resultados encontrados na zona 0° a 55°, demonstrando que a carga de vento é inferior pelos coeficientes apresentados pela ABNT NBR 16032 (2012), tratando de carga positiva – de sobrepressão, de aproximadamente  $26,54 \text{ kgf.m}^{-1}$ . Por outro lado, a ABNT NBR 6123 (1988) chega a uma carga de aproximadamente  $372 \text{ kgf.m}^{-1}$  de sucção para esta zona, demonstrando um efeito mais nocivo a estrutura.



Ao analisar os resultados encontrados na zona 55° a 115°, pelos coeficientes apresentados pela ABNT NBR 16032 (2012), uma carga de aproximadamente 372 kgf.m<sup>-1</sup>, enquanto a ABNT NBR 6123 (1988), resulta em valores próximos a 292 kgf.m<sup>-1</sup>, devido aos valores de coeficientes mais agressivos desta região. Mistriotis & Briassoulis (2002), ressaltam a importância dos resultados numéricos que demonstram a forte dependência dos coeficientes aerodinâmicos e apresentam em seu trabalho as características de atuação do fluxo de ar com sua distribuição com valores negativos e maiores nesta zona, confirmando os valores encontrados.

Para os resultados encontrados na zona 115° a 180°, verificou-se que a carga de vento está próxima a 160 kgf.m<sup>-1</sup>, utilizando os coeficientes aerodinâmicos descritos na ABNT NBR 16032 (2012), ao contrário da ABNT NBR 6123 (1988) que chega a uma carga próxima 132 kgf.m<sup>-1</sup>, menos nociva. Estes resultados de cargas, possuem coeficientes próximos aos encontrados nos ensaios computacionais realizados por Vieira Neto & Soriano (2020), o qual encontra coeficientes de pressão na faixa de -0,4 a -0,6, valores próximos aos verificados em ambas as normas utilizadas.

Quanto a comparação entre as normas, verificou-se valores diferentes atuando nas regiões, pois não possui os mesmos coeficientes, resultando no vento oblíquo em um resultado de aproximadamente 531 kgf.m<sup>-1</sup>. Destaca-se que a ABNT NBR 16032 (2012) não considera este tipo de ação, e que nos resultados obtidos neste estudo, foram os maiores valores, considerando os dados da ABNT NBR 6123 (1988).

## CONCLUSÕES

Através da verificação de cargas, com a utilização das normas ABNT NBR 6123 (1988) e da ABNT NBR 16032 (2012), foi possível constatar que existe diferença no resultado final da carga de vento calculada por estes métodos. Conforme verificado, a carga encontrada pela ABNT NBR 6123 (1988) foi superior a outra norma utilizada (exceto na região a sotavento do telhado), demonstrando a importância de dimensionamento pelas duas, a fim de verificar a pior situação.

Este trabalho demonstrou a importância de pesquisa e estudo das tipologias existentes, sua utilização e forma de dimensionamento, pois existem divergências nos resultados de dimensionamento que podem causar prejuízos, com instalações subdimensionadas deste tipo de estrutura.

Um ponto de importante destaque é referente ao vento oblíquo atuante na estrutura, pois a ABNT NBR 16032 (2012) não considera este tipo de ação, no entanto, conforme obtido pelos cálculos da ABNT NBR 6123 (1988), a força advinda dessa direção proporcionou uma força de alta intensidade ( $531 \text{ kgf.m}^{-1}$ ).

Como sugestão de estudos futuros, indica-se a realização de ensaios laboratoriais com os elementos estruturais pertencentes a esta estufa, bem como com o material de cobertura implantado (plástico PEBD), para que se possa determinar experimentalmente as resistências destes materiais, visando a otimização estrutural e do plástico, para que se possa minimizar os danos a estes, devido principalmente, à carga de vento.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16032: **Estrutura de estufa e viveiro agrícola – Requisitos de projeto, construção, manutenção e restauração**. Rio de Janeiro, 2012.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6123: **Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

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


BLESSMANN, J. **Ação do vento em edifícios**. 2 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade federal do Rio Grande do Sul/UFRGS, 1989.

EN 13031-1 (European Standard). (2001). **Greenhouses: Design and construction. Part 1: Commercial production greenhouses**. Madrid, Spain: European Committee for Standardization CEN, AENOR (in Spanish).

EN 13031-1 (European Standard). (2019). **Greenhouses. Design and construction Commercial production greenhouses, Category: 65.040.30 Greenhouses and other installations**. Madrid, Spain: European Committee for Standardization CEN, AENOR (in Spanish).

MISTRIOTIS, A.; BRIASSOULIS, D. Numerical estimation of the internal and external aerodynamic coefficients of a tunnel greenhouse structure with openings. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 34, p. 191-205, 2002.

VIEIRA NETO, J. G., SORIANO, J. Computational modelling applied to predict the pressure coefficients in deformed single arch-shape greenhouses, **Biosystems Engineering**. Volume 200, 231-245, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.10.003>, 2020



ZANATA ESTUFAS AGRICOLAS. 2020. Disponível em: <<https://www.zanatta.com.br>>, Acesso em: 03/03/2022.

WAHRHAFTIG, A. M. Ação do vento em estruturas esbeltas com efeito geométrico. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2017.

# CAPÍTULO 18

## FUNDAÇÕES UTILIZADAS PARA SOLOS ARENOSOS E ARGILOSOS

**Joseneto de Souza**  
**Caylanne Mendes de Souza**  
**Leticia Alencar de Souza**  
**Luanda Dantas Sales**  
**Tayná Silva Gomes**

### RESUMO


As fundações representam um desafio devido à natureza composta da grande quantidade de inclusões envolvidas no processo reforço. Todo projeto de fundações considera os esforços atuantes na construção e a resposta do solo à estas cargas. Os solos apresentam diversas e distintas características entre si e respondem de formas muito diferentes, por isso, toda experiência passada pelas gerações de construtores está relacionada ao tipo de solo existente. Sendo assim, o estudo sobre as fundações é de extrema importância para as edificações manterem-se em perfeito estado ao longo dos anos, o estudo correto das características dos solos, faz-se necessário para a identificação adequada do tipo de fundação a ser utilizada. Com isso, o estudo teve como objetivo apresentar os tipos de fundações mais plausíveis a serem utilizadas em solos arenosos e argilosos, tendo em vista que são os solos mais comuns de serem encontrados na região de Cajazeiras - PB, onde esta análise bibliográfica está sendo redigida. O presente trabalho trata-se de uma pesquisa bibliográfica, exploratória, descritiva com abordagem qualitativa, a pesquisa foi realizada através de trabalhos já existentes que consistem em analisar as mais recentes obras de caráter científico disponíveis que tratem do assunto ou que deem embasamento teórico e metodológico para o desenvolvimento do trabalho de pesquisa. Portanto, após a verificação da análise dos resultados bibliográficos, pode-se concluir que, para obter o êxito de uma fundação, faz-se necessário identificar corretamente o tipo solo e as características da edificação como, carga aplicada e estética.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tipos de fundações; Solo argiloso; Solo arenoso.

### INTRODUÇÃO

Pode-se entender por fundação uma estrutura resultado da necessidade de transferir cargas ao solo (MILITITSKY, 2015). Os elementos estruturais de fundações devem apresentar resistência necessária para comportar os esforços atuantes, além de transmitir de forma segura as ações da superestrutura ao solo, de forma a evitar que recalques diferenciais prejudiquem ou provoquem a ruptura da estrutura ou do solo (ALVA, 2007).

Todo projeto de fundações considera os esforços atuantes na construção e a resposta do solo a estas cargas. Os solos são muito diversos e distintos entre si e respondem de formas muito diferentes, por isso, toda experiência passada pelas gerações de construtores está relacionado ao tipo de solo existente (FALCONI, 1998).



Portanto, os tipos de solos devem ser analisados corretamente a fim de que se tenha uma exibição fiel de suas características, de forma a evitar erros de escolha da solução de fundação (USACE, 2001, apud DA COSTA AYRES, 2017).

Assim sendo, as fundações se apresentam com extrema importância para a construção e a duração das edificações em perfeito estado ao longo dos anos. E para escolher corretamente os tipos de fundações se faz necessário a identificação adequada do tipo de solo. Com isso, este estudo tem como objetivo apresentar os tipos de fundações mais usuais em solos arenosos e argilosos, tendo em vista que são os solos mais comuns de serem encontrados na região de Cajazeiras - PB, onde esta análise bibliográfica está sendo redigida.

## **METODOLOGIA**

O estudo baseou-se em uma pesquisa bibliográfica, exploratória, descritiva com abordagem qualitativa.

A pesquisa bibliográfica e exploratória foi realizada através de trabalhos já existentes que consistem em analisar as mais recentes obras de caráter científico disponíveis que tratem do assunto ou que deem embasamento teórico e metodológico para o desenvolvimento do trabalho de pesquisa, possibilitando ao explorador proporcionar maior familiaridade com o assunto em questão, tornando-o explícito ou construindo hipóteses sobre ele (GIL, 2010).


## **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **Solo arenoso**

Segundo o livro SOLOS (2017), o solo é “o produto de transformação das substâncias orgânicas e minerais da superfície da terra sob a influência dos fatores ambientais que operam por um período de tempo muito longo e apresentando uma organização e morfologia definidas”(SCHROEDER; GETHING e LOPES, 2017, p.14). Sua caracterização e classificação, na construção civil, são feitas através de ensaios de acordo com a norma NBR 6484 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001), sendo possível sua identificação pela textura, granulometria, plasticidade, consistência, compacidade, estrutura, forma dos grãos, cor e origem. Entretanto, de acordo com a Pedologia, o solo pode ser classificado em argiloso, arenoso, humoso e calcário (MOREIRA; SENE, 2005).

O solo arenoso é constituído principalmente por grãos de areia, e tem uma granulometria entre 0,05 mm até 4,8 mm, tornando-o extremamente permeável, com uma alta mobilidade (PINHEIRO, 2020). Construções em terreno com esse tipo de solo próximas aos lençóis





freáticos tendem a ter rachaduras na estrutura. Já estradas construídas nesse solo, tendem a vantagem de não apresentar lamaçal em época de chuva, pois ao contrário do solo argiloso, o arenoso não possui quase nenhum poder de agregação. Devido sua permeabilidade, fundações nesse tipo de solo requerem uma profundidade maior com estacas, a fim de estabilizar e garantir segurança da estrutura (GEOANALISYS).

De acordo com o livro O Solo como Material de Construção (2001), “para que se escolha adequadamente um solo a ser utilizado na construção, é necessário que saibamos, *a priori*, o que vai ser construído, qual o local em que a obra será realizada, qual a técnica a ser empregada, qual a função do elemento construtivo a ser executado e se existem meios disponíveis para a estabilização, caso ela seja recomendada. Em geral, toda terra com boa coesão é adequada para construção” (SANTIAGO, 2001, p.37).

### **Fundações por estacas para solo arenoso**

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010) define fundação por estaca como “elemento de fundação profunda executado inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem que, em qualquer fase de sua execução, haja descida de pessoas. Os materiais empregados podem ser: madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado in loco ou pela combinação dos anteriores”.

Como o solo arenoso se movimenta facilmente, escavações próximas ou o rebaixamento do lençol freático, podem provocar recalques, sendo assim necessária a utilização de elementos de fundações profundas. Este tipo de fundação consiste em transmitir cargas do que se pretende construir acima do terreno para o solo através da resistência de fuste, que é feito pelas laterais das estacas ou pelas pontas, como também pelo atrito entre o solo.

Este elemento tem um custo maior, as estacas podem ser cravadas, existindo a possibilidade de serem danificadas durante o processo, inclusive podem ser inseridas também através de golpes de percussão, que são golpes de martelo, prensagem com macacos hidráulicos ou por vibração. As estacas são executadas de forma rápida, possuem um controle de qualidade maior, e não apresentam problemas devido ao lençol freático.

As estacas escavadas podem atingir profundidades maiores mesmo na presença de água, e antes de serem executadas tem o processo de retirada de solo do terreno, que permite o estudo desse material para evitar problemas futuros no entorno do terreno.

## **Estaca pré-moldada de concreto**

Dentre os variados tipos de estacas que existem, o mais convencional usado para o solo abordado é o tipo estacas pré-moldadas de concreto, podendo ser maciças ou vazadas, são geralmente moldadas em usinas e logo após são transportadas para a obra, onde serão cravadas em solo através de prensagem, vibração ou percussão, possuindo mais de 3 m de profundidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010). Essa estaca possui boa resistência contra esforços de flexão e de cisalhamento e consegue suportar uma boa quantidade de cargas. Além disso, há um controle de qualidade do concreto, sendo fabricado apropriadamente e fiscalizado.

## **Estaca strauss**

Este método não deve ser utilizado para obras com terrenos de areias submersas e com solos de argilas muito moles, ou onde há presença de lençol freático. Ele é indicado para obras de pequeno porte, apresentando assim um bom custo-benefício. O processo acontece primordialmente com a abertura de um furo com um soquete para introduzir um tubo metálico, logo após, dando início à escavação do solo com balde sonda ou piteira, é inserido o material de revestimento metálico.

## **Estaca raiz**

Este tipo de estaca tem a proporção de uma profundidade superior a 50 metros, com diâmetro entre 80 mm e 500 mm, escavada com um equipamento chamado de perfuratriz, que realiza uma perfuração rotativa, também podendo ser roto-percussiva, sendo utilizados tubos metálicos a fim de proteger a escavação que serão inseridas. É realizada a limpeza interna do furo com jatos de água à pequena pressão, auxiliando na manutenção do furo, é então inserida a armadura e um tubo de injeção para realização da concretagem expelindo toda a água presente, após a moldagem do fuste se aplica uma pressão com ar comprimido no topo para a retirada do tubo de revestimento.

## **Estacas metálicas**

As estacas metálicas são utilizadas para variados tipos de terrenos, mas não para terrenos com grandes quantidades de rochas. As mesmas são formadas de metal, com tubos de chapa dobrada ou trilhos metálicos, e devem receber um tratamento contra a corrosão. São cravadas através do método de percussão, feitos com pilões de queda livre ou automáticos, conseguindo ser bem resistentes contra tração e compressão.

## **Estacas de madeira**

As estacas de madeira são indicadas para fundações submersas, geralmente cravadas com martelo de queda livre. Quando utilizadas para obras provisórias são feitas de ipê, peroba e aroeira, mas quando utilizadas para obras permanentes devem ser tratadas contra fungos e bactérias, como também se o terreno tiver uma alta resistência, a ponta da estaca deve ser protegida com ponteira de aço, para evitar a danificação da mesma.

## **Estacas Franki**

As estacas Franki são um tipo de fundação pouco utilizado atualmente, pois provoca muita vibração no entorno do terreno, necessita de terrenos amplos dados os maquinários de grande porte que são utilizados e tem custo elevado. No entanto, possui os pontos positivos de suportar grandes cargas e ter base alargada. Para sua aplicação, primeiramente são feitas as locações dos pontos de perfuração, em seguida inicia-se o processo de escavação que é realizado através de golpes de pilão em tubo com ponta fechada, então é instalada a armadura e à medida que o revestimento cravado é retirado, se introduz o material de concreto ou granular.

## **Estacas de hélice contínua**

A estaca de hélice contínua é uma das fundações mais conhecidas e utilizadas no Brasil, sendo executada rapidamente e dotada de um método seguro, pois permite um monitoramento eletrônico. Sua execução é feita de forma que a concretagem fique rente a escavação utilizando trado helicoidal contínuo, e é realizada ao mesmo tempo em que é feita a remoção do solo. Não devem ser utilizadas em solos na presença de rochas, como também em locais pequenos, devido a uma ocupação considerável para os equipamentos, todavia é indicada para centros urbanos por provocar pouca vibração.

## **SOLO ARGILOSO**

O solo é entendido como “produto do intemperismo, do remanejamento e da reorganização das camadas superiores da crosta terrestre, sob ação da atmosfera, da hidrosfera, da biosfera e das trocas de energia envolvidas” (TOLEDO et al., 2003 apud LABORATÓRIO DE ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA - LENC, 2014, p. 39). As origens de um solo definem as características que ele possui, e no caso do solo argiloso que está incluído na classe argissolo, os fatores influentes à sua formação são relevo e clima. As argilas presentes nesse tipo de solo predominam no terço superior e médio da paisagem em condições de relevo suave

ondulado ou somente ondulado, já em relevos de declive suave a argila se encontra em grande quantidade em uma maior profundidade.

Segundo a Embrapa (2014) os argissolos são caracterizados pelo horizonte B textural (Bt) e sequências de horizontes do tipo A-E-Bt-C-R ou A-Bt-C-R, sendo uma classe de solos minerais bem desenvolvidos e drenados, que podem possuir cores vermelhas, vermelho-amarelas, amarelas, acinzentadas ou brunadas. Além disso, apresentam boa capacidade de armazenarem água e efluentes, no entanto possuem a limitação de serem muito suscetíveis à erosão que é causada pelo acúmulo de argila em sua subsuperfície.

De acordo com a profundidade de solo da classe do argissolo analisada, pode-se encontrar também o solo arenoso, pois “a textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para este” (SANTOS, JACOMINE, ANJOS, et al., 2018).

## **FUNDAÇÕES RASAS PARA SOLO ARGILOSO**


De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019), a NBR 6122:2019 descreve fundações rasas – “consistem nos elementos de fundação dos quais a base está assentada em uma profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação”. Esta fundação constitui um sistema que suporta as cargas de uma superestrutura, sendo elas transmitidas para o solo pelas pressões distribuídas pela base da fundação.

Terrenos que possuem solos argilosos são bons de se construir, dado que este solo é denso e se aglutina com facilidade quando bem compactado tem alta resistência, permitindo o uso de fundações rasas.

Fundações rasas, conhecidas como superficiais, são econômicas e, em geral, também são mais simples de executar se comparadas às fundações profundas. Situam-se na camada da superfície e sua definição segue a regra de que o mecanismo de ruptura ocorre na superfície do terreno (FORMIGONI, 2009).

### **Sapatas**

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019) define sapata – “Elemento de fundação superficial de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele produzidas não sejam resistidas pelo concreto, mas sim pelo emprego da armadura. Pode possuir espessura constante ou variável, sendo sua base em planta normalmente quadrada, retangular ou trapezoidal”.



As sapatas são utilizadas para receber as cargas dos pilares e distribuí-las no solo. São produzidas nas dimensões exatas de modo que estejam prontas para serem aplicadas. Deverá ser feita a escavação da área apropriada, para receber as sapatas, até atingir a cota de apoio com profundidade mínima de 1,5 metros. Após realizar a compactação do solo, é depositado o concreto, e logo após ele é nivelado.

### **Sapatas corridas**

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019), NBR 6122:2019, sapata corrida é aquela “sujeita à ação de uma carga distribuída linearmente ou de pilares ao longo de um mesmo alinhamento.” Localizadas na base da edificação, são utilizadas para solos que tem boa capacidade de suporte, sendo elementos de concreto armado, que dependendo da profundidade da sapata pode dispensar a viga baldrame por possuir o mesmo formato e resistir aos mesmos esforços, como também o uso de formas. No que diz respeito a sua geometria, pode possuir o formato piramidal ou retangular.

Semelhante a uma placa de concreto, podendo ser de concreto armado ou de concreto protendido, o radier pode conter ou não vigas dependendo da resistência do solo. É aplicado sob a superfície do terreno, devendo ter dimensão igual ou superior a área que será construída, descarregando os esforços de todos os seus componentes estruturais, como as vigas, paredes e pilares para o solo.

### **Sapatas associadas**

Conhecidas também como radiers parciais, as sapatas associadas são indicadas para serem utilizadas apenas quando os pilares da obra estiverem próximos. Elas são resistentes à flexão e devem estar centralizadas no centro da carga dos pilares. São elementos de apoio de concreto que têm dimensões de altura menor que a dos blocos.

### **Baldrame**

Baldrame ou vigas de fundação são elementos de fundação em que os pilares têm os centros alinhados em planta. Primeiramente deve ser cavada uma valeta, e feita uma camada de concreto magro, que deve ser nivelada e possuir formas para esta viga, que podem ser feitas de tábuas de madeira ou pelas suas próprias laterais chapiscadas de concreto. Pode ser usada para sustentação de paredes, e na ausência de paredes serve de forma e proteção onde há maior carga em pisos.

## **Blocos de fundação**

Os blocos de fundação são caracterizados pelo uso exclusivo do concreto, não havendo necessidade da implantação de armadura no solo. Após a escavação é realizado o arrasamento das estacas, onde é feita a cota de arrasamento, feito com um marteleto, após isso é feita a marcação com as formas de gabarito no lugar onde será posicionada a armação. Deve-se descer o prumo de centro no eixo da estaca, o desvio não pode ultrapassar 10% do diâmetro. Em alguns casos quando o bloco é pequeno, a armadura pode ser feita do lado de fora e logo após isso é inserida dentro do mesmo para ser realizada a concretagem e a retirada das formas, por fim os blocos devem ser impermeabilizados.

## **Radier**


A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019) define radier como “Elemento de fundação superficial que abrange todos os pilares da obra ou carregamentos distribuídos (por exemplo: tanques, depósitos, silos, etc.)”. O radier é semelhante a uma placa de concreto, é escolhido para obras de pequeno porte e quando a área das sapatas utilizadas ocuparem cerca de 70% da área construída, como também quando se deseja reduzir os recalques diferenciais. O terreno deve ser bem nivelado e compactado, e por se tratar de uma laje de concreto armado, antes da concretagem devem ser feitas todas as instalações hidráulicas e elétricas, assim como os arranques de colunas.

## **TIPOS DE SONDAGENS GEOTÉCNICAS**

As sondagens geotécnicas são métodos aplicados em engenharia visando determinar as características de uma superfície terrena ou aquática. O principal objetivo das sondagens técnicas é designar o perfil de um terreno através do estudo do solo ou das rochas que constituem a sua subsuperfície. Esses estudos são fundamentais para auxiliar a escolha do melhor tipo de fundação de uma estrutura a ser construída sobre o terreno.

### **Sondagem SPT**

O ensaio de penetração padronizado ou Standart Penetration Test (SPT) é um método de sondagem simples de reconhecimento de solo, que de acordo com a NBR 6484 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001, p. 1) possui aplicações na engenharia civil para a determinação dos tipos de solo em suas respectivas profundidades, para a identificação da posição do nível da água e designação dos índices de penetração (N) em cada metro.



Através da sondagem SPT são adquiridas amostras de solo que devem ser analisadas de forma a serem obtidas as informações de sua granulometria, plasticidade, cor e origem - que remete aos solos residuais, transportados (coluvionares, aluvionares, fluviais e marinhos) ou de aterros (NBR 6484, 2001).

O ensaio SPT pode não atender todas as averiguações necessárias a respeito do solo em um dado ponto. Quando há existência de rochas grandes no solo, o prosseguimento do ensaio pode ser comprometido em uma profundidade que ainda apresentaria um bulbo de tensões sobre o mesmo, influenciando uma resistência inferior àquela necessária para suportar as cargas de determinada estrutura. Nesse caso, podem ser realizadas sondagens prévias e definitivas, ou ainda outros ensaios.

### **Sondagem rotativa**

O ensaio de sondagem rotativa é conveniente para os casos em que o solo possui a presença de rochas. Nesse método de investigação geológico geotécnico utiliza-se um conjunto motomecanizado projetado para a obtenção de amostras contínuas e cilíndricas de rochas através de uma perfuração realizada de forma rotativa. Os resultados dessa sondagem são apresentados em forma de relatório indicando os pontos perfurados, a planta do local, os perfis geológicos e geotécnicos do terreno, a data de início e término da sondagem, a cota do furo, inclinação e rumo da sondagem, nível de água se assim houver, diâmetros de sondagem, comprimento de cada manobra, fraturamento, alteração, classificação geológica entre outros.

### **Sondagem CPT**

O ensaio de penetração de cone *in situ* (CPT) conhecido internacionalmente por Cone Penetration Test (CPT) é um método que objetiva determinar a “resistência do solo à penetração estática e contínua ou incremental de uma ponteira padronizada, caracterizada em componentes de resistência de ponta e de atrito lateral local” conforme a NBR 12069 MB 3406 define (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, p. 1).

Esse método consiste na cravação estática lenta de um cone mecânico ou elétrico no solo a uma velocidade constante de 2 cm por segundo para a obtenção dos dados que o próprio sistema realiza a cada 20 cm de profundidade. Esses dados auxiliam os cálculos para se ter os valores do ângulo de atrito efetivo, do coeficiente de adensamento, da capacidade de rolamento e a identificação do comportamento do assentamento de uma fundação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização dessa análise bibliográfica e tendo em vista o conceito de fundações já citado, pode-se concluir que o estudo adequado do solo, a fim de identificar corretamente o tipo e as características do mesmo, se faz de extrema importância para a escolha da fundação de modo a não causar problemas na estrutura.

Para solos do tipo arenoso, por conta do seu alto poder de movimentação, se faz a utilização de fundações profundas, do qual entre os tipos mais conhecidos, se destaca por adequação ao tipo de solo as estacas. Dentre os variados tipos de estacas, o mais convencional para o solo em questão é a estaca pré-moldada de concreto.

Em contrapartida, os solos argilosos tendem a ser densos, e quando bem compactados apresentam uma alta resistência permitindo o uso de fundações rasas, que além de mais econômicas, são também mais simples de executar. Das fundações rasas a mais usual na construção civil são as sapatas, porém nem sempre seu uso é vantajoso, e para obras de pequeno porte se faz mais viável o uso de radier.

**Quadro:** Fundação mais usual para solos Arenosos e Argilosos.

Tipo de solo	Característica do solo	Tipo de Fundação	Fundação mais usual
Solo Arenoso	Alto poder de movimentação	Fundações Profundas	Estaca Pré-moldada de concreto
Solo Argiloso	Denso	Fundações Rasas	Sapata/ Radier

**Fonte:** Autores (2020).

O tipo de fundação adequada não depende só dos tipos de solos, mas depende também do tipo de edificação que será construída e suas necessidades estáticas específicas. Porém o intuito deste estudo é saber as fundações mais convencionais para os solos arenosos e argilosos, de acordo com o quadro acima, já que não foi considerada nenhuma construção específica. A escolha da fundação adequada varia de acordo com o tipo de edificação e pode ser tema para outros trabalhos.

## REFERÊNCIAS

ALVA, G. M. S. **Projeto estrutural de sapatas**. Departamento de Estruturas e Construção Civil–Universidade Federal de Santa Maria. 2007. Disponível em:< [http://www. ufsm. br/decc/ECC1008/Downloads/Sapatas. pdf](http://www.ufsm.br/decc/ECC1008/Downloads/Sapatas.pdf), >. Acesso em: 8 de dezembro de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12069 MB 3406: Solo – Ensaio de penetração de cone *in situ* (CPT)**. Rio de Janeiro. 1991.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2001.

AYRES, T. M.C; DE ARAUJO, C. B. C.; DE OLIVEIRA COSTA, L.; DO NASCIMENTO, L. V.; NOGUEIRA, T. P. **Análise das Soluções de Fundações de Edifícios para Diferentes Perfis Geológico - Geotécnicos no Município de Fortaleza**. GEOCENTRO, Goiânia, 2017.

FALCONI, F.; CORRÊA, C. N.; ORLANDO, C.; SCHIMDT, C.; ANTUNES, W. R.; ALBUQUERQUE, P. J.; NIYAMA, S. **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

FORMIGONI, D. D. P. **Análise comparativa do desempenho de fundação rasa do tipo radier com fundação rasa de sapatas isoladas**. Trabalho de conclusão de curso - UTFP. Curitiba, 2009.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MARQUES, F. A.; NASCIMENTO, A. F.; FILHO, J. C. A. et al. **Solos do Nordeste**. Recife: Embrapa, 2014.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MOREIRA, J. C. **Geografia**: volume único. João Carlos Moreira, Eustáquio de Sene. São Paulo: Scipione, 2005.

PINHEIRO, I. **Tipos de Solo na Engenharia Civil**. Inovacivil 2020. Disponível em: <<https://www.inovacivil.com.br/tipos-de-solos-na-engenharia-civil/#:~:text=Os%20principais%20tipos%20de%20solos%20s%C3%A3o%20arenoso%20siltoso%20e%20argiloso,%C3%A9%20totalmente%20de%20um%20tipo>>. Acesso em: 8 de dezembro de 2020.

SANTIAGO, C.C. **O Solo Como Material de Construção**. 2. ed. EDUFBA, Salvador, 2001.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SCHROEDER, D; GETHING, P.A; LOPES, A.S. **SOLOS**. Tradução de Albert Lopes. 4. ed. InternationalPotashInstitute (IPI), Suíça, 2017.

# CAPÍTULO 19

## A INTERPRETAÇÃO DA NATUREZA DA LUZ AO LONGO DA HISTÓRIA: UMA REVISÃO DE LITERATURA

**Eliane Kovalek Scheifer**  
**Oscar Rodrigues dos Santos**  
**Debora Ferreira da Silva**  
**Wladimir Sérgio Braga**  
**Adriana da Silva Fontes**

### RESUMO


Ensinar Física requer estratégias didáticas que despertem o interesse e estimulem a curiosidade dos estudantes, é importante promover uma associação entre o que é ensinado e situações que lhes sejam familiares, mostrando a relação entre o universo da sala de aula e o mundo fora dela. Para tanto, busca-se diferentes metodologias e tecnologias, uma possibilidade de agregar conhecimento e enriquecer as aulas de Física é a abordagem histórica do conteúdo. A História da Ciência, como recurso metodológico nas aulas de Física, possibilita uma interação entre o estudante e o conteúdo a ele ensinado, permitindo uma visão mais flexível sobre determinado conceito ou teoria. Neste trabalho, foi realizado uma revisão bibliográfica sobre a dualidade da luz, desde os primeiros conceitos abordados até chegar – se a conclusão que a luz se comporta como onda e partícula, dependendo da situação considerada. Dessa forma, almeja-se que os jovens percebam o longo caminho de erros e acertos traçados por grandes personalidades da história, aproximando-os e motivando-os para fazer ciência, possibilitando a formação de um pensamento crítico por parte dos estudantes. O uso da história da ciência constitui numa metodologia importante para o ensino de Física, tornando-se um facilitador do aprendizado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dualidade da luz. Aprendizagem significativa. História da ciência. Ensino de física.

### INTRODUÇÃO

Ensinar os conteúdos de Física requer estratégias didáticas que despertem o interesse e estimulem a curiosidade dos estudantes. Neste sentido, torna-se importante estabelecer uma associação entre o que é ensinado e as situações que lhes são familiares, mostrando a relação entre o universo da sala de aula e o mundo fora dela.

Para tanto, busca-se diferentes metodologias e tecnologias que possibilitam uma abordagem histórica do conteúdo e assim, agregar conhecimento e enriquecer as aulas de Física. A História da Ciência, como recurso metodológico nas aulas de Física, promove uma interação entre o estudante e o conteúdo ensinado, permitindo uma visão mais flexível sobre determinado conceito ou teoria. Permite ver a Ciência como produção humana, feita por pessoas que se sentem desafiadas e a partir daí, criam hipóteses que podem, inclusive, serem refutadas,



deixando os estudantes mais à vontade perante tantos conhecimentos que antes pareciam ter sido determinados de forma simples, acabada e sem erros.

É importante que os alunos compreendam que as grandes teorias passaram por um lento processo possuindo histórias de erros e acertos, rejeição e aceitação. Porém, muitas vezes é transmitido aos alunos a ideia de que determinado conhecimento surgiu do nada, pronto e finalizado, certo do jeito em que se encontra, que não há possibilidade de que futuramente tal conhecimento seja abandonado ou aperfeiçoado.


A postura de transmitir ao estudante essa impressão de ciência pronta e acabada torna-se prejudicial no processo de ensino/aprendizagem de diferentes formas, como, por exemplo, limitar o crescimento intelectual e a criticidade do aluno, pois ao ver uma ciência tão perfeita e não ver todo o processo de construção por trás da mesma, o aluno sente-se incapaz de tal feito, acredita não ter condições de construir ciência, pensando que, não se pode questionar o que os cientistas disseram. Nessa perspectiva, Hülsendeger (2007), acredita que trabalhar a História da Ciência pode ser favorável para que o aluno compreenda os fenômenos estudados em Física.

É importante que nossos alunos percebam que o conhecimento científico não está finalizado, que continua em construção e que ele pode ser um agente do desenvolvimento científico, que ele sinta confiança em si e acredite ser capaz. O fato de se mostrar o processo de construção de conceitos científicos pode contribuir para que entenda que a ciência é para todos e, tendo contato com o contexto histórico, perceberá a interação do desenvolvimento científico com o desenvolvimento social, o que promoverá maior interesse nas aulas de Física e melhor compreensão dos conceitos ensinados.

De nada adianta apresentar a ciência como um produto a ser venerado, admirado à distância, de modo a fazer com que os estudantes adquiram um sentimento de inferioridade. Quando se promove desse modo o triunfo da ciência, a nossa humanidade sai perdendo. (ROBILOTTA, 1988, p.18).

A História da Ciência não deve ser tomada como principal metodologia de ensino, mas como um complemento, um material que tende a enriquecer o ensino dos conteúdos. Matthews (1995), menciona uma crise na educação contemporânea, comprovada pela evasão de alunos e professores que vem ocorrendo no ambiente escolar, destacando também o crescente índice de analfabetismo científico.

Pensando na História da Ciência como fomentadora da compreensão do fazer científico, auxiliando na percepção de como importantes conceitos chegaram ao nível atual de entendimento, Martins (2006), enfatiza que uma análise apropriada de alguns momentos da história pode possibilitar uma visualização do desenvolvimento social e gradual da construção



do conhecimento, favorecendo ainda, uma observação mais coerente sobre a natureza da ciência, percebendo suas limitações e processos, promovendo uma formação crítica e ao mesmo tempo mantendo o valor da ciência e sua desmistificando.


Desta forma, o contexto histórico sobre a dualidade da luz é muito rico para que o aluno entenda que a concepção aceita pode ser mudada, o que pode ser determinado por algum novo fator ou experimento que antes não podia ser notado ou realizado. Assim, conhecer a história da natureza da luz pode auxiliar não só na valorização dos erros e acertos ocorridos na construção científica, mas na própria história em si, possibilita que ele compreenda o caráter dual da luz.

A luz é um fenômeno da natureza ao mesmo tempo empírico e abstrato, é o primeiro contato com a experimentação ao meio externo que um ser humano tem. Por ser um ente da natureza imediatamente requisitado logo após nosso nascimento e constantemente necessário, não é de se estranhar que os primeiros conceitos e hipóteses sobre a natureza da luz estejam presentes nos mais antigos registros da história, a partir da necessidade de se compreender o dia e a noite. O que torna o ensino sobre a luz atraente é que, apesar de se terem iniciado as observações, definições e conclusões a seu respeito desde a antiguidade, quando já deixava a humanidade intrigada, ainda há o que se descobrir sobre tal fenômeno.

As primeiras observações sobre a natureza da luz surgiram da intenção de compreender e explicar como acontecia a visão humana. Quanto mais se investigava sobre o sentido da visão, mais se aprofundava no conhecimento sobre a luz. Vários povos de diferentes crenças, na tentativa de explicar como era possível a formação das imagens, perceberam a relação da visão com a luz – sem luz não é possível enxergar – e atribuíram a diferentes deuses os fenômenos relativos à luz. Porém, os primeiros registros que apresentam buscas por explicações e definições sobre a natureza da luz, sendo compreendidos como estudos do campo da Física, foram encontrados na Grécia, divergindo de todo o momento histórico e cultural da época. Como material de apoio para o ensino da dualidade da luz, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre a história da luz.

## **METODOLOGIA**

O trabalho foi realizado com base em uma revisão bibliográfica, devido ao seu caráter histórico, de como foi construído o conceito de Luz ao longo da história. Esse tipo de pesquisa viabiliza ao pesquisador acesso a informações de uma variedade de estudos reportados na literatura (Gil, 2007). Em função da profundidade do objeto de estudo desta pesquisa, foi



escolhido a análise teórica, uma forma de pesquisa que possui como ponto central a relevância dos registros ao longo da história, permitindo uma investigação das diversas contribuições, mesmo que pequenas, que servem como pilares da construção da ciência (Cellard, 2008). A história da ciência é fundamental para a qualidade do ensino, servindo como metodologia complementar na disciplina de física, tornando o ensino mais agradável e prazeroso.

## **ASPECTO HISTÓRICO DA NATUREZA DA LUZ**

### **A luz segundo os gregos**

As definições sobre o comportamento da luz relacionados à visão seguiam por três vertentes idealizadas por diferentes pensadores da antiga Grécia. De acordo com Bassalo (1986), aproximadamente no século VIII a. C., Homero afirmava que a luz era formada por raios visuais que saíam dos olhos do observador em direção ao objeto observado. Para Pitágoras (580 a. C. – 500 a. C.), a luz era emitida pelo objeto observado, atingindo os olhos do observador. A terceira hipótese, proposta por Platão (428 a. C. – 348 a. C.), definia que a visão de um objeto era possível devido a combinação de três jatos de partículas, em que a luz é emitida pelos olhos do observador, pelo objeto observado e pelas fontes iluminadoras, como o Sol, por exemplo. Ao combinar o jato de luz emitido pelos olhos com o jato de luz vindo da fonte iluminadora, ambos em direção ao objeto observado, ocasionam o terceiro jato de luz que segue em direção aos olhos do observador, dando-lhe a sensação de visão.

Pensadores e filósofos que viveram nesses diferentes períodos e séculos depois continuavam a tentar compreender e explicar a visão e sua relação com a luz, dividindo-se nessas três linhas de pensamentos, que apesar de divergirem sobre o comportamento do raio luminoso, concordavam na natureza corpuscular da luz. Notoriamente, a definição de luz como partículas emitidas pelos olhos, apesar de ter sido aceita por um longo período, causava desconforto em diversos filósofos da época, por ainda não explicar por que essa luz não emana dos olhos a noite, permitindo a visão nesse período.

O filósofo grego Empédocles (495 a.C. - 430 a.C.) compreendia a luz de acordo com Homero, sendo “algo” que saía dos olhos, tocava os objetos e retornava para o ponto de partida trazendo informações. Para ele, tudo o que existia na natureza era composto por quatro elementos (água, fogo, terra e ar) e a luz emitida pelos olhos tinha origem no elemento fogo acendido pela deusa da beleza e do amor. Apoiando-se na teoria da luz que emana dos olhos em direção ao objeto observado, Empédocles foi o primeiro a defender que a velocidade da luz é limitada. “Apesar deste filósofo ser partidário da teoria corpuscular da luz, pois considerava

o fluxo luminoso como o fluxo contínuo de um rio, parece que ele era uma das únicas vozes da antiguidade a defender a finitude da velocidade da luz” (BASSALO, 1986, p. 139-140).

Quanto à natureza da luz, na antiguidade prevalecia o modelo corpuscular, defendido também pelos atomistas. “Nas visões atomistas gregas, destacavam-se as ideias de Leucipo (480-420 a. C.) e Demócrito (460-370 a. C.), os quais entendiam a luz como sendo composta por átomos arredondados e velozes que se deslocavam no vazio” (SILVA, 2010, p. 47).


O primeiro a apresentar ideias que contrariavam o modelo de corpúsculos, podendo ser considerado o pioneiro nas teorias da natureza ondulatória da luz, foi Aristóteles (384 a.C. - 322 a.C.).

“Segundo ele, um objeto luminoso vibra e, desta forma, coloca em vibração um meio indefinido, que o filósofo chamou de “diáfano”, o qual, por sua vez, provoca o movimento de “humores” que entram na composição do olho. Este modelo não era baseado em nenhuma observação do fenômeno, fato que seria muito difícil para época. Era uma analogia baseada apenas em associações” (BARTHEM, 2005, p. 20).

Segundo Bassalo (1986), apesar de Aristóteles defender ideias caracterizadas como antecessoras da teoria ondulatória da luz, o filósofo grego defendia que a velocidade da luz era infinita. As dúvidas quanto à natureza corpuscular ou ondulatória da luz manifestadas na Grécia seguiram dividindo os filósofos, sendo a teoria corpuscular a de maior aceitabilidade. A partir dela muitos estudos sobre o comportamento da luz foram desenvolvidos, já que se pensava na luz como raios.

Saindo do campo filosófico de discussões sobre sua natureza e adentrando o campo da geometria, surgiram as explicações referentes ao comportamento geométrico da luz. O matemático Euclides (323 a. C – 285 a. C.) desenvolveu estudos importantes no campo da óptica geométrica. Adepto da teoria de que a luz segue dos olhos em direção ao objeto, utilizando-se da definição de raios visuais de Homero, relacionou-os aos seus conhecimentos geométricos.

Os raios visuais de propagação retilínea utilizados por Euclides eram indispensáveis nas demonstrações geométricas apresentadas em suas obras que exploravam a reflexão da luz, porém, ele não se ocupava em descrever ou defender o princípio do raio visual e seus fundamentos. De acordo com Bassalo (1986), Euclides apresentou a Lei de Reflexão, em que os ângulos de incidência e de reflexão são iguais, em seu tratado denominado *Catóptrica*, usando seus *Elementos de Geometria* para explicar o comportamento de raios de luz em espelhos.



Os conceitos no campo da óptica evoluíram muito pouco ao longo de séculos. Posterior a Euclides, três séculos depois, destaca-se Heron de Alexandria (10 – 70), que também desenvolveu seus estudos na óptica geométrica.


Como Euclides, ele aceitava que a visão era produzida por raios visuais; portanto, ele não descreveu o movimento e a reflexão da luz nos espelhos, e sim o movimento e a reflexão dos raios visuais. Apesar dos pressupostos iniciais de Heron não corresponderem ao que entendemos hoje sobre o processo de visão e de luz, essas diferenças não serão relevantes para a discussão do princípio e sua aplicabilidade. Embora não aceitemos tal hipótese, ela não torna esses trabalhos antigos inválidos, pois ao pensarmos sobre raios visuais saindo dos olhos para os objetos, ou raios luminosos indo dos objetos para os olhos, os caminhos são idênticos, mudando apenas o sentido do movimento. (MARTINS; SILVA, 2013, p. 1605-2).

Heron contribuiu no campo da óptica geométrica defendendo, também, a propagação retilínea da luz, por meio de seu princípio do caminho mais curto – em que os “raios visuais” tendem a percorrer a menor distância, resultando em trajeto retilíneo. Em sua obra *Catóptrica* explorou os espelhos planos e não planos, estudando a reflexão dos “raios visuais”. Afirmava ainda que a velocidade da luz era infinita.

Quanto à refração da luz, esta já era conhecida e estudada na antiguidade. Cláudio Ptolomeu (85-165 d.C.), de Alexandria, que era adepto da teoria do raio visual, provavelmente foi um dos primeiros pensadores a coletar dados ao perceber o desvio sofrido por um feixe de luz ao passar do ar para a água. “[...] [Ptolomeu] construiu tabelas dos ângulos de incidência e refração. Seu trabalho é um dos poucos exemplos de experimentos daquela época, mas suas medidas estavam apenas aproximadamente corretas” (BARTHEM, 2005, p. 7).

É importante observar que todas as contribuições ao longo da história da ciência, mesmo sendo refutadas ou sendo comprovado que não são válidas para explicar determinados fenômenos naturais, não devem ser menosprezadas, pois servem de base para o avanço da ciência. Em muitos casos, como o aqui descrito, o comportamento de propagação retilínea da luz apoiado na geometria foi validado posteriormente, mesmo que a teoria do raio visual tenha sido definitivamente excluída.

Não foram mencionados inúmeros filósofos e matemáticos que também apresentaram e defenderam suas concepções sobre a natureza da luz que na Grécia nos séculos citados, de um modo geral, os registros históricos a respeito das teorias e explicações, eram concebidas nas linhas de pensamentos até aqui descritas. A evolução e o surgimento de ideias contrárias às propostas pelos gregos foram muito lentas, ocorrendo séculos depois. Em resumo, sobre a natureza da luz, prevalece a noção de modelo corpuscular, havendo uma leve menção do comportamento ondulatório indicado por Aristóteles.



A propriedade de propagação retilínea da luz é comum entre os filósofos da época, ainda que tenham posicionamentos diferentes em relação ao sentido de propagação, sendo identificadas três definições: (1) luz que emana dos olhos do observador em direção ao objeto observado, (2) luz que emana do objeto observado em direção aos olhos do observador, e (3) a combinação de “jatos” de luz, em que dois “jatos” incidem no objeto observado, vindos da fonte luminosa e dos olhos do observador, formando um terceiro “jato” que segue do objeto observado aos olhos do observador. Sobre a velocidade da luz, os pensadores estavam divididos entre os que acreditavam que esta teria valor finito, de grande rapidez, porém sem menção de valores, e os que defendiam que a luz teria velocidade infinita, sendo a segunda a de maior credibilidade na época.

### **Contribuições de Al Hazen**


Após os estudos apresentados por Ptolomeu, no século I d.C., sobre a refração da luz, não houve avanço nas teorias sobre a natureza da luz e nem quanto às suas propriedades; foi um longo período de praticamente mil anos sem novas discussões – ao menos não foram encontrados registros que apontem contribuições significativas sobre o estudo da luz neste período.

No século X, o árabe Abu Alí al Hasan ibn Al Haitam (965 - 1038), conhecido no Ocidente por Al Hazen, pôs fim às discussões a respeito da propriedade de propagação da luz. A explicação de que a luz saía dos olhos também não foi aceita por Al Hazen, matemático e astrônomo, precursor do método experimental que também definiu a luz como minúsculas partículas dotadas de grande, porém finita, velocidade.

Para o árabe, era impossível que o raio visual, saindo dos olhos do observador, gerasse dor e desconforto em algumas situações, então ficava claro que o responsável pela visão seria um agente externo. Concluiu ainda que se esse agente externo, como no caso do Sol, fosse muito forte, poderia deixar o efeito de visão posterior à observação, explicando o fato de a pessoa ver o disco solar ao fechar os olhos.

Al Hazen destacou-se utilizando a câmara escura como método experimental. Em sua obra “Livro de Óptica” conseguiu comprovar duas teorias: a de que a luz era emitida pelo objeto e a de que ela se propagava em linha reta, afirmando ainda que a visão: [...] consistia na formação de uma imagem óptica no interior do olho, que funcionava como uma máscara escura, onde os raios de luz emitidos por cada ponto do corpo atravessariam a pupila e formaria um ponto correspondente à imagem no espelho da câmara (SILVA, 2010, p. 49).





Al Hazen estudou não só a reflexão da luz, mas também a refração da mesma, sendo considerado como o primeiro cientista, por desenvolver o método experimental. Barthem (2005) afirma que Al Hazen corrigiu as tabelas de ângulos de incidência e refração, aperfeiçoou as leis desenvolvidas por Ptolomeu e introduziu o conceito de que os raios incidentes, refletidos e refratados estão todos no mesmo plano, denominado incidente.

As contribuições de Al Hazen foram primordiais para os estudos da óptica geométrica, exercendo influência nos estudos dos filósofos ocidentais d.a idade média, constituindo-se como um passo importante para a compreensão da visão, apesar de não ter desenvolvido teorias relacionadas à natureza da luz. Por ter sido um período de pouca evolução nos conceitos sobre a luz, Al Hazen ganhou grande destaque no contexto histórico no campo da óptica.


Ribeiro *et al.* (2016) ressaltam que Al Hazen foi, indiscutivelmente, a pessoa mais importante na história da óptica e da luz, desde os tempos antigos até o século XVII, e que o Ano Internacional da Luz (2005) marca várias efemérides, entre elas o milésimo aniversário de seu Tratado de Kitab al-Manazir (Livro de Óptica).

### **Natureza da luz nos séculos XVII e XVIII**

Foi no séc. XVII que as discussões sobre a natureza da luz ganharam espaço de fato; alguns estudiosos concentraram esforços em explicar e defender seus posicionamentos com relação ao que acreditavam, deixando o campo filosófico, que era predominante até então, para adentrar o campo científico. Quanto à natureza da luz, predominava o modelo de partículas que se propagavam em linha reta, sendo explicado com o auxílio da óptica geométrica, mas alguns fenômenos não podiam ser explicados por meio dela.

Pelo modelo de propagação retilínea da luz, um obstáculo deveria proporcionar uma região de sombra de contornos nítidos. A projeção desta sombra em uma parede, pelas previsões do modelo geométrico, seria caracterizada por uma região escura claramente separada da região iluminada pela fonte luminosa. É claro que, para isso, dever-se-ia levar em consideração a região de penumbra, gerada pelo tamanho físico da fonte de luz, e que deveria ser a menor possível para se fazer uma observação apurada. Contudo, as primeiras experiências logo mostraram a existência de faixas claras, onde devia haver sombra, e de faixas escuras, onde devia estar bem iluminado. (BARTHEM, 2005, p. 21).

Francesco Maria Grimaldi (1618 - 1663), professor da Universidade de Bolonha, realizou um experimento simples no qual verificava essas faixas claras e escuras. Foi, provavelmente, o primeiro a identificar um quarto comportamento da luz, o qual ele denominou de difração. Até então, eram conhecidos os fenômenos de reflexão, refração e difusão. A publicação de seus estudos ocorreu após sua morte, em seu livro intitulado *Physico-Mathesis de Lumine, Coloribus et Iride*, em 1665. Segundo Barthem (2005), para explicar o desvio da



luz de sua trajetória em linha reta, Grimaldi usou a experiência comum sobre ondas sonoras ou ondas que se propagam na água, direcionando, assim, para um estudo de comportamento ondulatório da luz. Bassalo apresenta uma descrição, feita por Grimaldi, de uma de suas experiências:


[...] Grimaldi demonstrou que se um feixe de luz branca passar através de dois estreitos orifícios, situados um atrás do outro, e em seguida atingir um anteparo branco, haverá neste uma região iluminada além da que deveria existir se a luz se propagasse em linha reta. É como se a luz se "encurvasse" ao passar pelos orifícios, afirmou Grimaldi. (BASSALO, 1986, p.141).

Cabe ressaltar que, logo a frente, veremos esse experimento sendo utilizado por Thomas Young para comprovar o comportamento ondulatório da luz no séc. XIX.

Percebe-se que, nesse período, as observações e desenvolvimento de conceitos estavam sempre mais voltadas ao estudo sobre as propriedades da luz. As conjecturas referentes à sua natureza, eram determinadas de forma a justificar as propriedades enunciadas. Novamente, os estudos norteiam para a óptica geométrica, mais precisamente na refração da luz, em que damos destaque a Willebrord Snell (1591-1626), professor de matemática na Universidade de Leiden, Holanda, que em 1621 desenvolveu uma relação entre os ângulos de incidência e de refração da luz ao mudar de meio de propagação. Snell não publicou seus estudos, mas foi reconhecido posteriormente, sendo sua relação matemática chamada de: Lei de Snell. A lei da refração foi de fato enunciada e publicada por René Descartes (1596-1650), em 1634, que não citou Snell, mas diante dos fatos, essa lei também é denominada Descartes-Snell.

“Ao estudar a refração da luz através de meios transparentes, Descartes utiliza a teoria corpuscular da luz e conclui que a velocidade da mesma é maior nos meios mais refringentes, isto é, mais densos” (BASSALO, 1986, p. 151). Por outro lado, o matemático francês Pierre Fermat (1601-1665) realizou uma nova demonstração da lei da refração da luz em 1661. Segundo Rocha *et al.* (2011, p. 310), “para demonstrar a lei da refração, ele se apoia no seu postulado do *tempo mínimo*, e usa uma hipótese que exigia ter a luz uma velocidade menor nos meios mais densos, a qual era contrária ao resultado de Descartes”. Ainda de acordo com Rocha *et al.* (2011), este foi o fator que formalizou as controvérsias entre as duas concepções sobre a natureza da luz.

Em 1678, o físico e astrônomo holandês Christian Huygens (1629-1695) propõe a teoria ondulatória para a luz no livro “Tratado sobre a luz”. Huygens não foi o primeiro a defender a natureza ondulatória da luz. Havia conjecturas sobre essa concepção ondulatória sendo uma delas, proposta em 1665 por Robert Hooke (1635-1703), físico inglês que descreveu muitos



experimentos ópticos em seu livro *Micrographia*, no qual menciona sua compreensão sobre a natureza da luz.

O fato é que as pesquisas e publicações de Huygens ganharam grande espaço no cenário científico do séc. XVII, destacando-se na disputa entre as duas concepções, a natureza ondulatória, defendida por ele e a natureza corpuscular, defendida por Newton, que será vista mais à frente.

Huygens também realizou estudos referentes à refração da luz, concluindo que a velocidade de propagação da luz em um meio determina o índice de refração sendo alterada quando a luz passa de um meio para o outro. Ele reconhecia a luz como ondas longitudinais assim como o som, o que posteriormente foi verificado ser incorreto, tendo a luz o comportamento de ondas transversais.


É importante mencionar que apesar de Huygens ser reconhecido como o primeiro a sistematizar a teoria ondulatória da luz, em sua obra não há menção de diversos elementos dos estudos de ondulatória que temos conhecimento hoje, tais como: frequência, período, amplitude e comprimento de onda, que foram desenvolvidos muito tempo depois. Até então, a luz era algo que causa uma perturbação em um meio.

E como Huygens fazia analogia ao som e às ondas sonoras, as ondas de luz precisariam de um meio material para se propagarem. Ele propôs que o meio pelo qual a luz se propagaria seria o éter, “um *meio luminoso*, que penetrava os poros de todos os corpos e enchia todo o espaço, meio este com características tais que explicassem a grande velocidade da luz, este meio seria para ele um fluido, batizado de éter *luminífero*” (ROCHA *et al.*, 2011, p. 297).

Sobre a relação da velocidade de propagação da luz com a densidade do meio em que se propaga, Huygens estava em concordância como Fermat, afirmando que em meios mais densos a velocidade é menor. Já o físico e matemático inglês, Sir Isaac Newton (1642-1727), foi opositor da teoria ondulatória de Huygens, mas por ser reconhecido na comunidade científica contemporânea, conseguiu ancorar a teoria corpuscular da luz nos séculos XVII e XVIII.

Para Newton, como já foi mencionado, a velocidade da luz era é maior quanto mais denso o meio em que se propaga, teoria essa que sabemos não foi bem sucedida. Uma importante descoberta realizada por Newton é que o índice de refração depende não apenas das propriedades do meio, mas também da cor da própria luz.

Ribeiro *et al.* (2016) falam sobre a teoria corpuscular defendida por Isaac Newton,



Na sua obra *Opticks* (1704), Newton apresentou a ideia que a luz é corpuscular, é formada por raios que viajam em linha recta e não como ondas. Para Newton a propagação em linha recta da luz não era compatível com uma teoria ondulatória. Newton explicou muitos fenómenos com a sua teoria corpuscular e, devido ao peso das suas opiniões, levou a que esta fosse a mais aceite durante cem anos. (RIBEIRO *et al.*, 2016, p. 7).

De acordo com Salvetti (2008, p. 47), “Newton considerou a luz como formada por corpúsculos, entidades microscópicas com características semelhantes a pequenas ‘bolinhas’ com posições e velocidades bem definidas em cada instante de tempo” e cada grupo desses corpúsculos correspondia a uma cor. Newton verificou a decomposição da luz branca em diferentes cores fazendo uma experiência de refração da luz do Sol em um prisma triangular de vidro.


Assim, as duas teorias dividiram espaço no meio científico, ambas tinham adeptos e defensores, porém, como já foi mencionado, a teoria corpuscular defendida por Newton acabou prevalecendo devido ao seu grande prestígio científico, e assim aceitava-se que a natureza da luz era de carácter corpuscular. Evidentemente, nenhuma das duas teorias era completamente satisfatória, pois haviam questões a serem respondidas.

### **Discussões sobre a luz nos séculos XIX e XX**

Somente no início do séc. XIX a teoria ondulatória conseguiu ganhar espaço no cenário científico. O mérito para esse feito é dado ao médico e físico britânico Thomas Young (1773-1829), que em 1801 retomou a discussão sobre as faixas claras e escuras observadas na sombra por Grimaldi, denominadas difração, que não podiam ser explicadas pela teoria de corpúsculos da luz. De acordo com Barthem (2005), Young conseguiu apresentar provas mais eficazes para a difração.

Young, estabeleceu, então, um paralelismo entre a interferência entre ondas sonoras e a luz. Poderiam duas ondas luminosas adicionar-se para produzir a escuridão? Se fossem compostas de partículas a resposta seria não. Por outro lado, se tivessem uma natureza ondulatória a resposta seria sim. (BARTHEM, 2005, p. 31).

Com essa observação, Young colocou em dúvida o modelo corpuscular defendido por Newton e seus seguidores, um questionamento simples que não podia ser explicado, afinal a soma de raios luminosos não poderia gerar algo escuro, pensando-se em junção de partículas. Para Thomas Young, “a luz é propagada em linha reta, porque todos os movimentos não perturbados são retilíneos, ou porque, em um meio homogêneo e altamente elástico, todas as ondulações são transmitidas retilineamente” (YOUNG, 1802, p. 116 apud SILVA, 2010, p. 78). Esse meio homogêneo e altamente elástico a que se refere Young é o éter, fluido que preenche todo espaço vazio, e que não causa resistência à propagação da luz.



Young consagrou-se na defesa da teoria ondulatória por meio de um experimento que ficou muito famoso, o experimento da fenda dupla. Silva (2007) também descreve o experimento realizado por Young e ainda destaca que tal experimento tornou possível os primeiros cálculos do comprimento de onda da luz.


A luz emergente dispersa-se por difração e incide em dois novos orifícios, ocorrendo nova difração. A superposição entre as ondas provenientes desses orifícios gera um padrão de interferência em um anteparo. A análise dos máximos e mínimos, além de estabelecer uma base material convincente para sustentar a teoria ondulatória, permitiu-lhe medir o comprimento de onda da luz solar, estimada em 570 nm (em unidades atuais), bem próximo do valor atual de 555 nm. (SILVA, 2007, p.155).

O modelo ondulatório foi formalizado a partir do aperfeiçoamento no modelo de Huygens e Young, de ondículas, proposto pelo engenheiro civil francês Augustin Jean Fresnel (1788-1827), que desenvolveu um modelo matemático para a teoria ondulatória da luz, que até então era de caráter qualitativo. Segundo Rocha *et al.* (2011), usando seu modelo matemático, Fresnel conseguiu chegar a uma explicação convincente para a propagação retilínea da luz.

Ele esclareceu, por exemplo, que a difração da luz se torna cada vez menos pronunciada à medida que as dimensões da abertura (diâmetro de um orifício circular, largura de uma fenda retangular, etc.) se tornam progressivamente maiores que o seu comprimento de onda. Para aberturas suficientemente grandes, os efeitos de difração são desprezíveis. (ROCHA *et al.*, 2011, p. 291-292).

Desta forma, a propagação retilínea da luz torna-se possível porque, mesmo sendo onda, seu comprimento de onda tem medidas muito pequenas. De acordo com Rocha *et al.* (2011), Fresnel também propôs mudanças na concepção que se tinha sobre o éter, o meio elástico em que se propagava a luz. Para que a propagação transversal da onda luminosa fosse possível, tal meio deveria ter comportamento de sólido elástico e não de fluido, como previa Huygens.

Em 1818, Augustin Fresnel, com o intuito de desafiar os defensores da teoria ondulatória da luz diante das recentes polêmicas geradas por Young e seus seguidores, participou de uma competição proposta pela Academia de Ciências de Paris, que na época era muito influenciada pelo modelo corpuscular de Newton. Na ocasião, os competidores deveriam apresentar e defender suas teorias sobre a difração da luz. O matemático francês Siméon Denis Poisson (1781-1840) foi um dos juizes da competição. De acordo com Barthem (2005), após ver a teoria proposta por Fresnel, que foi submetida baseada apenas em observações, Poisson, com o intuito de provar que Fresnel estava errado, propôs um argumento através da teoria do absurdo: “Tomando o inverso de um orifício, ele mostrou que, pela teoria de Fresnel deveria aparecer um ponto brilhante no centro da sombra de um objeto circular, o que, logicamente, seria impossível” (BARTHEM, 2005, p. 32). O astrônomo e físico François Arago (1786-1853), que também era juiz da competição e tinha conhecimento das teorias de Fresnel, sugeriu montar a



experiência proposta por Poisson; Barthem (2005, p.32) descreve que “o ponto luminoso foi observado e passou a ser conhecido como a *mancha de Poisson*”. Diante da confirmação através do experimento, Fresnel foi inevitavelmente o vencedor da competição e a teoria ondulatória da luz ganhou ainda mais atenção.


O modelo ondulatório da luz só foi reconhecido em 1850, quando o físico e astrônomo francês Jean Bertrand Léon Foucault (1819-1868) conseguiu medir com precisão a velocidade da luz. Entre os dois modelos defendidos (ondulatório e corpuscular), enfatizava-se como característica determinante a velocidade da luz em diferentes meios. Newton, principal defensor do modelo corpuscular, afirmava que a velocidade da luz seria maior na água do que no ar, enquanto Huygens, defensor do modelo ondulatório, afirmava que a luz se deslocaria com maior velocidade no ar do que na água.

Rosa (2012) menciona que Arago havia sugerido, em 1838, que o cálculo da velocidade da luz na água e no ar seria o fator decisivo entre as duas teorias.

Foucault utilizaria a mesma técnica de roda dentada com espelho, utilizada por Fizeau, para detectar as velocidades da luz no ar e na água. Ao comprovar uma velocidade superior no ar que na água, a experiência de Foucault é considerada como marco comprobatório, aparentemente definitivo, da Teoria ondulatória da luz. (ROSA, 2012, p. 135).

A partir da segunda metade do séc. XIX a teoria ondulatória da luz passou a ser aceita e reconhecida pela comunidade científica. Este século trouxe ainda a fusão da óptica ondulatória com o eletromagnetismo, que propunha uma grande mudança na concepção ondulatória da luz, pois as teorias apresentadas até então consideravam as ondas mecânicas como base de estudo. Em 1845, os estudos propostos pelo físico e químico britânico Michael Faraday (1791-1867) apresentam os primeiros indícios dessa relação. Conforme descreve Barthem (2005), Faraday associou a luz com a radiação eletromagnética após observar que o campo magnético rotacionava o plano de polarização das ondas luminosas quando estas passavam por uma região magnetizada.

Posteriormente, o físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) conseguiu efetivar e comprovar a natureza eletromagnética da luz, apoiado em formulações matemáticas, dando sequência e utilizando como base as pesquisas realizadas por Faraday. De acordo com Rocha *et al.* (2011), “Maxwell demonstrou que a velocidade de suas ondas eletromagnéticas - ondas essas desconhecidas até então - coincidiam com a velocidade da luz, a qual já era conhecida na época, o que lhe indicou que a luz era de natureza eletromagnética” (ROCHA *et al.*, 2011, p. 345-346).



Como diversos cientistas já haviam medido a velocidade da luz, “Maxwell pôde afirmar que a luz era um distúrbio eletromagnético, e também que deveria haver radiações eletromagnéticas para além da região do visível” (ROCHA *et al.*, 2011, p. 345). Assim, com as equações formuladas por ele, foi possível deduzir a velocidade da luz partindo-se de constantes já concebidas no eletromagnetismo.

Em 1886 as pesquisas do físico alemão Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) definem um importante momento para a atual concepção sobre a natureza da luz. O mais impressionante fato presente nos estudos de Hertz é que em uma única experiência ele consolida a natureza eletromagnética das ondas da luz e aponta novamente para a natureza corpuscular da luz.

Rosa (2012) descreve o experimento de Hertz,

[...]utilizando um detector e um oscilador que construía, [Hertz] foi capaz de produzir ondas eletromagnéticas de comprimento suficientemente curtas para estudá-las em laboratório. Sua conclusão seria a de que as propriedades das ondas eram similares às da luz, o que o levou a concluir que as ondas de luz eram radiações eletromagnéticas, segundo as equações de Maxwell. Estava dado o primeiro passo para o conhecimento do efeito fotoelétrico. (ROSA, 2012. p. 137).


Para Barthem (2005), “Hertz deparou-se com aquilo que viria a ser o segundo tempo da teoria corpuscular. Ele notou que, quando a luz ultravioleta iluminava o terminal negativo, as faíscas surgiam mais facilmente” (BARTHEM, 2005, p. 38).

Hertz confirmou a natureza eletromagnética da luz verificando um novo comportamento da luz, em que ao incidir raios de luz ultravioleta sobre uma chapa metálica percebeu que essa emitia faíscas, retomando a possibilidade de natureza corpuscular da luz.

Mais tarde esse fenômeno foi denominado efeito fotoelétrico, que acontece quando uma placa de metal é atingida por radiações eletromagnéticas e tem elétrons retirados da superfície. Rocha *et al.* (2011) descrevem ainda como o efeito fotoelétrico não era explicável no modelo ondulatório da luz, abalando as estruturas da física clássica.

Este fenômeno tinha uma estranha particularidade: a energia máxima dos elétrons emitidos não era determinada pela intensidade da luz, como era de se esperar pela teoria ondulatória de Maxwell, e sim, pela frequência da onda incidente. Por volta de 1900, esse efeito (junto como o chamado problema do corpo negro) tinha posto em xeque novamente os fundamentos da teoria ondulatória da luz, pois essa teoria não era capaz de explicar tais efeitos, levando a Física, chamada clássica, a uma profunda crise. (ROCHA *et al.*, 2011, p. 313-314).

Estas observações, que não podiam ser explicadas dentro dos conceitos da Física Clássica, deram início à novas concepções e modelos para o estudo da luz e nesse sentido, com um novo olhar e novas perspectivas, surgiu a Física Quântica. Foram nos campos do eletromagnetismo e da termodinâmica que apareceram novas possibilidades para a natureza da



luz. Foram nos campos do eletromagnetismo e da termodinâmica que surgiram novas possibilidades para a natureza da luz. Um dos primeiros indícios da retomada do modelo corpuscular, mas sob concepções completamente diferentes das já mencionadas, foi o surgimento de questões sobre a radiação emitida por um corpo negro, dentro da termodinâmica.

Um corpo negro (ideal) absorve completamente a radiação que incide sobre ele, não refletindo nenhuma onda eletromagnética (luz), porém toda a radiação absorvida é convertida em energia térmica, fazendo com que o corpo aumente sua temperatura e essa elevação de temperatura faz com que o corpo passe a emitir ondas eletromagnéticas. Barthem (2005) explica esse fato, tomando como exemplo o carvão:

Carvão em pó, por exemplo, que reflete menos de 2% da radiação incidente, se aproxima bastante daquilo que se idealiza como um corpo negro. Mas, ao absorver toda a radiação incidente, um corpo negro se aquece. Isto significa que toda a energia interna do corpo é distribuída termicamente, o que envolve uma distribuição de energias definida pelas leis da termodinâmica, dependendo apenas da temperatura absoluta. Esta distribuição térmica de energias pode ser investigada através do espectro de emissão do corpo negro. Note que um corpo negro pode emitir luz, só não pode refleti-la em sua superfície. Voltando ao carvão, que é um bom exemplo de corpo negro, quando aquecido fica em brasa. A distribuição espectral - ou distribuição segundo as *cores* - do Sol também pode ser compreendida como a de um corpo negro a cerca de 6000K. (BARTHEM, 2005, p. 42).


Assim, considerando a luz emitida como onda e utilizando as teorias de Maxwell, compreendendo que as diferentes radiações visíveis ou invisíveis eram definidas de acordo com as medidas dos comprimentos de onda e frequências que as caracterizavam, inclusive definindo a cor emitida (radiações visíveis), e que quanto menor é o comprimento de onda maior é a frequência e, conseqüentemente, a energia da radiação, em 1859 Gustav Kirchhoff (1824-1887) afirmou que a radiação de um corpo negro depende apenas da sua temperatura e não do material de que é composto.

O modelo utilizado para representar um corpo negro consistia em um bloco com cavidade espelhada no seu interior e termicamente isolada do meio externo. Salvetti (2008) descreve a incompatibilidade com a teoria ondulatória proposta no eletromagnetismo a partir das observações da radiação emitida por um corpo negro, que se tornou uma grande limitação para o comportamento ondulatório da luz.

Os resultados obtidos e os cálculos teóricos se ajustavam bem para frequências baixas (altos comprimentos de onda), mas divergiam, de forma significativa, para frequências altas (baixos comprimentos de onda) e por isso essa discrepância ficou conhecida como catástrofe do ultravioleta. (SALVETTI, 2008, p. 157-158).

A catástrofe do ultravioleta deve-se ao fato de que ao elevar a temperatura do corpo negro, esse emitiria radiação com maior frequência e energia, e teria seu comprimento de onda diminuído, o que no espectro eletromagnético passaria do vermelho para o violeta, de forma





que a teoria falhava para comprimentos de onda muito curtos, levando à hipótese absurda de que qualquer corpo superaquecido emitiria radiação com frequência elevada e conseqüentemente, emitiria energia tendendo ao infinito conforme fosse aquecido.

O físico e matemático alemão Max Karl Ernest Ludwig Planck (1858-1947), em 1900, após dedicar-se em equacionar os resultados obtidos experimentalmente para a radiação do corpo negro, chegou a uma conclusão que lhe causou surpresa; essa solução teórica evitava o resultado absurdo anteriormente apresentado: “Ele observou que o resultado experimental poderia ser ajustado, a partir das equações clássicas, desde que uma ‘pequena’ alteração fosse realizada” (SALVETTI, 2008, p. 158).

Planck concluiu que a energia não poderia ser contínua, como se acreditava e assim elaborou a hipótese que seria o início da teoria quântica, enunciada alguns anos depois.

A fim de evitar esse resultado obviamente absurdo, o cientista alemão Max Planck sugeriu, em 1900, que a luz, os raios X e outras ondas não podiam ser emitidos a uma taxa arbitrária, mas apenas em certos pacotes, que ele chamou de quanta. Além do mais, cada quantum tinha um montante de energia que aumentava quanto maior fosse a frequência das ondas, de modo que, a uma frequência elevada o bastante, a emissão de um único quantum emitiria mais energia do que havia disponível. Desse modo, a radiação em altas frequências seria reduzida e a taxa em que o corpo perde energia seria finita. (HAWKING, 2015, p. 76).

Mas as conclusões de Planck só tiveram efeitos sobre a concepção da natureza da luz com a retomada do efeito fotoelétrico identificado por Hertz. O mesmo experimento que comprovou que a luz era uma onda eletromagnética, vem agora provar que a luz também é partícula. O físico Philipp Eduard Anton Von Lenard (1862-1947) retomou os trabalhos de Hertz, do qual foi assistente, na intenção de medir a energia dos elétrons retirados de uma placa metálica ao incidir luz sobre a mesma. De acordo com Barthem (2005), Lenard observou que a energia máxima com que um elétron podia ser ejetado era constante. Ele observou ainda que se a intensidade da luz fosse dobrada, o número de elétrons emitidos também dobrava. Porém, a energia dos elétrons emitidos não mudava. Notou ainda que, mesmo em uma intensidade muito pequena, a energia máxima que um elétron pode emitir é a mesma. “Ele observou que a energia máxima dos elétrons ejetados dependia da cor - quanto menor o comprimento de onda, maior a frequência da luz e maior a energia com que os elétrons eram arrancados” (BARTHEM, 2005, p.49).

Em 1905, considerado como o “ano miraculoso”, surge um dos mais brilhantes físicos do século XX, o alemão de origem judia Albert Einstein (1879-1955) que acreditava na teoria de Planck, já deixada de lado. De acordo com Rocha *et al.* (2011), Einstein foi ainda mais ousado que Planck e abordou o caráter da luz propondo que seria partículas luminosas, mais


tarde denominadas *fótons*. Rocha *et al.* (2011) descrevem as observações feitas por Einstein referentes ao efeito fotoelétrico.

[...] Einstein utilizou-se das ideias de Planck para interpretar aqueles aspectos, que se revelavam classicamente inexplicáveis dentro do citado efeito: (a) a maneira como os elétrons eram ejetados das superfícies metálicas, quando sobre elas incidia um raio de luz, (b) a importante dependência da frequência, ou seja, abaixo de certas frequências críticas não havia ejeção de elétrons, qualquer que fosse a intensidade da radiação. (ROCHA *et al.*, 2011, p. 400-401).

Assim, Einstein retoma o modelo corpuscular, com um aspecto totalmente diferente do que já havia sido proposto, atingindo conjecturas não imaginadas até então, dando origem à Física Quântica. Rocha *et al.* (2011, p. 401) descrevem que “Einstein explicou o efeito fotoelétrico, partindo da hipótese de Planck, e afirmando que, ao invés de imaginar a luz como uma onda de energia discreta, era mais conveniente imaginá-la como formada por partículas”.

O modelo proposto por Einstein apresenta a quantização da luz, em que ela é composta por fótons (quanta de energia). Cada fóton é um conjunto de determinada quantidade de energia definida, comumente chamado de “pacote”, que tem a velocidade da luz; o fóton é formado por quantum de luz e a sua energia é proporcional à sua frequência. Segundo Salvetti (2008), a luz pode ser compreendida como um conjunto de fótons comportando-se como onda eletromagnética, ou seja, um “pacote de energia” que apresenta características e comportamento ondulatório, com comprimento de onda e frequência quando analisados de forma coletiva. Entretanto, se observado individualmente, o fóton apresenta características de partículas, tendo energia e velocidade, podendo colidir-se com elétrons. De acordo com Rocha *et al.* (2011), a comprovação realizada por Einstein evidenciava este caráter dual da luz, e por esse motivo tornou-se dramática.

A partir do modelo apresentado por Einstein, no séc. XX, a natureza da luz passou a ser compreendida como de caráter ondulatório e corpuscular, ou seja, obteve o caráter dual onda-partícula. Como visto no decorrer deste texto, desde a antiguidade buscava-se a compreensão e explicação da natureza e fenômenos da luz. Foram milênios de histórias, contradições, contribuições e refutações, que transitavam entre os modelos corpuscular e o ondulatório, para se chegar na atual conjectura, que contempla as duas teorias. Embora as conclusões sobre as características e propriedades da luz defendidas por filósofos e cientistas do passado sejam bem diferentes daquelas aceitas na atualidade, merecem reconhecimento, pois foram de fundamental importância para o entendimento sobre a natureza da luz. Neste sentido, Rocha *et al.* (2011) descrevem:



Por volta de 1920, a situação poderia ser resumida da seguinte maneira: Por um lado, a luz se comporta como onda, quando se trata, por exemplo, da experiência da dupla fenda de Young, produzindo um fenômeno de interferência. Por outro lado, a luz se comporta como corpúsculo, quando se trata, por exemplo, do efeito fotoelétrico, explicado por Einstein. Sendo assim, seria natural se pensar que a natureza pudesse ser melhor compreendida considerando a luz como tendo não uma natureza, corpuscular ou ondulatória, mas sim como tendo uma natureza dual, isto é, uma onda-partícula (uma partícula quântica), em determinados experimentos a luz se comporta como partícula (efeito fotoelétrico) e em outros, a luz se comporta como onda (experiência da fenda dupla de Young). (ROCHA *et al.*, 2011, p. 314).

Essa concepção sobre a natureza da luz foi melhor compreendida com o avanço da teoria quântica, na qual a quantização de energia com o modelo dos quanta de luz (fóton) foi o primeiro passo, dando origem inclusive ao nome “quântica”. Conforme Rocha *et al.* (2011), “Com a mecânica dos quanta ficou estabelecido que a forma de energia chamada luz - aquela pequena região visível do espectro eletromagnético - é uma onda-partícula e estas duas qualidades são aspectos complementares de uma única realidade” (ROCHA *et al.*, 2011, p. 316).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS


Podemos destacar, como uma das finalidades de se abordar a História da Ciência na educação básica, a humanização da ciência, também mencionada por Matthews (1995), levando os jovens a perceberem o caminho de erros e acertos traçados por grandes personalidades da história, de uma certa forma tirando-as do pedestal em que muitas vezes são colocadas, como pessoas que não erram. Assim, todos podem sentir-se próximos e capazes de fazer ciência, possibilitando a formação de um pensamento crítico por parte dos estudantes.

Ao abordarmos o contexto histórico sobre a luz, é possível mostrar aos estudantes o quanto a construção do conhecimento científico não é livre de diferentes interferências, que conclusões tomadas como certas e acabadas podem mudar, e que a compreensão da dualidade da luz foi extremamente importante para o desenvolvimento de tecnologias presentes nos dias atuais.

Conclui-se que o uso da história da ciência constitui numa metodologia importante para o ensino de Física, tornando-se um facilitador do aprendizado, promovendo uma melhor compreensão, permitindo que os conteúdos propostos nos currículos tenham significado para os alunos e também transcendam equações prontas e decoradas. É importante ficar atento, pois essa metodologia não deve ser tomada como única estratégia para ensinar, mas como uma ferramenta de apoio na abordagem dos diferentes conteúdos propostos.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. D.; SOUZA, F. S. C. S.; ALENCAR, F. P.; SANTOS, A. M. Difração e interferência: medição do comprimento de onda do espectro visível. *Research, Society and Development*. v. 9, n.6, e77963241, 2020.
- BARROS, M. A.; CARVALHO, A. M. P. A História da ciência iluminando o ensino de visão. *Revista Ciência & Educação*, v. 5, n.1, p. 83–94, 1998.
- BASSALO, J. M. F. A Crônica da ótica clássica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. Florianópolis, v. 3, p. 138-159, 1986.
- BARTHEM, R. *A Luz: Temas atuais de física*. 1. ed. São Paulo: Editora livraria da física: Sociedade Brasileira de Física, 2005.
- CELLARD, A. *A análise documental*. Petrópolis – RJ, editora vozes, 2008.
- GIL, A. *Como elaborar projetos de pesquisa*. Atlas: São Paulo, 2007.
- HAWKING, S. W. *Uma Breve História do Tempo*. Ilustração Ron Miller, tradução Cássio de Arantes Leite. 1. ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2015.
- HÜLSENDEGER, M. J. V. C. A História da Ciência no ensino da Termodinâmica: um outro olhar sobre o ensino de Física. *Revista Ensaio Pesquisa em Educação em ciências*, Belo Horizonte. v. 9, n. 2, p. 222-237, 2007.
- MARTINS, R. A. *Introdução: a história das ciências e seus usos na educação*. In book: *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino*. Editora Livraria da Física, 2006.
- MARTINS, R. de A.; SILVA, A. P. B. Princípios da óptica geométrica e suas exceções: Heron e a reflexão em espelhos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 35, n. 1, p.1605/1-1605/9, 2013.
- MARTINS, R. A.; SILVA, C. C. As pesquisas de Newton sobre a Luz: Uma visão histórica. *Revista Brasileira em Ensino de Física*, v. 37, n. 4, p.4202/1-4202/32, 2015.
- MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: A tendência atual de reaproximação. In: *Caderno Catarinense do Ensino da Física*, Florianópolis, v.12, n.3, p.164-214, 1995.
- RIBEIRO, A. R.; COELHO, L.; BERTOLANI, O.; ANDRÉ, R. *Luz: História, Natureza e Aplicações*. Gazeta de Física, Lisboa, v. 39, n.1/2, p.6-13, 2016. Edição Especial. Disponível em: <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/119>. Acesso em: 28 set. 2020.
- ROBILOTTA, M. R. O cinza, o branco e o preto – da relevância da história da ciência no ensino da física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 5, n. especial, p. 7-22, 1998.
- ROCHA, J. F. M. (Org.). *Origens e evolução das ideias da física* [livro eletrônico]. Salvador: EDUFBA, 2011.



ROSA, C. A. P. *História da ciência: o pensamento científico e a ciência no século XIX*. volume II. 2. ed. Brasília: FUNAG, 2012.

SALVETTI, A. R. *A História da Luz*. 2. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

SILVA, B. V. C. *Controvérsias sobre a natureza da luz: uma aplicação didática*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

SILVA, F. W. O. História da física e ciências afins: A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 1, p. 149-159, 2007.

# CAPÍTULO 20

## AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE TRATAMENTO DO EFLUENTE ORIGINÁRIO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA CERVEJA ARTESANAL E DO BIODIESEL UTILIZANDO SEMENTE DE MORINGA OLEIFERA

Catharine Cardoso Borgo  
Pedro Alves Bezerra Morais


### RESUMO

Os resíduos de processos industriais continuam a representar graves problemas para a contaminação de populações localizadas no entorno de indústrias produtoras de biodiesel, bem como, cervejarias artesanais. Ambos os processos geram inúmeros resíduos, os quais quando não reutilizados no processo ou em outro setor, necessitam de formas de tratamentos físico-químico como flotação ou eletrofoculação para descarte do efluente. A coagulação é um processo comumente utilizado para a remoção de matéria orgânica em suspensão em águas, sendo utilizados vários agentes químicos como sais de alumínio e ferro. Coagulantes de origem vegetal são comumente utilizados para o tratamento do efluente anteriormente aos sais químicos. Em particular, a *Moringa Oleifera* Lam é classificada como uma das melhores plantas para purificação de água. Em função da capacidade coagulativa das proteínas descrevemos neste capítulo a análise do comportamento da semente de *Moringa Oleifera* Lam, frente ao tratamento dos efluentes obtidos através do processo de lavagem do biodiesel e da etapa de limpeza dos tanques da produção de cerveja artesanal. Com os resultados obtidos é possível verificar que a semente de *Moringa Oleifera* Lam atuou de maneira significativa na redução de turbidez utilizando com princípio de aplicação do método direto com um valor percentual de 94% para o resíduo da cervejaria artesanal e 78,2% para o resíduo do biodiesel. Além dessa redução expressiva na turbidez, verifica-se uma coagulação rápida com baixa quantidade do agente coagulante.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo industrial, Processo de coagulação, Turbidez, *Moringa Oleifera*.

### INTRODUÇÃO

Os resíduos de processos industriais são de grande risco para a contaminação de populações localizadas no entorno. Dentre as atividades industriais que geram grandes volumes de resíduos se destaca a produção de biodiesel, uma alternativa bem estabelecida, tecnicamente viável para o diesel mineral, podendo ser produzido a partir de diversas matérias primas, tais como óleos vegetais, gorduras animais e óleos e gorduras residuais, por meio de processos como o de transesterificação, que consiste numa reação em que os triglicerídeos reagem com o metanol na presença de catalisador ácido ou básico. Essa reação produz glicerol, como subproduto, e o éster metílico de ácido graxo, que é o biodiesel, podendo-se utilizar o mesmo




puro ou em mistura com o diesel mineral, em diversas proporções (GEBREMARIAM; MARCHETTI, 2018; RAMOS *et al.*, 2010).

Durante as etapas de produção desse biocombustível, o produto gerado é submetido a um processo de lavagem com água tendo por objetivo a remoção de impurezas (purificação), seguido pelas etapas de filtração e secagem do biodiesel. O processo de lavagem é repetido de duas a cinco vezes segundo a quantidade de impurezas presentes. As águas de lavagem obtidas contêm em síntese, resíduos de sabões de sódio ou potássio, ácidos graxos, glicerina, e álcoois, podendo ser metanol ou etanol (MA; HANNA, 1999; MARCHETTI *et al.*, 2007; PALOMINO-ROMERO *et al.*, 2012).

Uma atividade que vem ganhando espaço no setor de alimentos e bebidas no Brasil é a fabricação da cerveja artesanal, também chamadas de “especiais”, “premium” ou “gourmet”. São cervejas produzidas com foco na variedade de cores, aromas e gostos, utilizando técnicas e receitas tradicionais, sendo estes produtos gastronômicos, parte da composição dos mais diversos pratos, assim como o vinho. Principalmente em empresas familiares, o número de cervejarias vem aumentando anualmente, conseqüentemente, cresce também a preocupação com o mau gerenciamento dos resíduos gerados (BONGAERTS *et al.*, 2021; GIORGI, 2015). A fabricação da cerveja consiste na fermentação alcoólica do mosto de malte de cevada por ação de leveduras cervejeiras. O processo é considerado impactante ao ambiente, visto que a cada um litro de cerveja produzida aproximadamente seis litros de efluente são obtidos com uma alta concentração de matéria orgânica (GAUDENCIO, 2013; VANDERHAEGEN *et al.*, 2003). Em virtude disto, pesquisas são realizadas a fim de se buscar técnicas novas e de baixo custo para tratar o grande volume de rejeitos descartados continuamente, impróprios para a saúde da população e dos seres vivos que usufruem dos corpos hídricos os quais são muitas vezes utilizados como ponto de descarte (DRIESSEN; VEREIJKEN, 2003; ENITAN *et al.*, 2014).

Os ecossistemas aquáticos apresentam mecanismos físicos, químicos e biológicos, para a incorporação de substâncias nocivas ao mesmo. Entretanto, quando atingem níveis superiores a capacidade assimilativa do meio receptor, acarretam problemas à sobrevivência, ao crescimento e à reprodução dos organismos. Desta forma, são necessárias ações voltadas para diminuir o impacto causado nestes ecossistemas, tais como, o uso racional dos recursos naturais, tratamento de efluentes e o desenvolvimento de tecnologias para a recuperação de corpos hídricos contaminados (CAMARGO, 2012; MOUSAVI; KHODADOOST, 2019).



Normalmente as indústrias produtoras de efluentes com alta carga orgânica tratam os mesmos por flotação, através da adição de polímeros para redução primária destes subprodutos. Consequentemente, após a coagulação e floculação e/ou emulsificação da matéria orgânica solúvel, ocorre a redução dos seus teores de forma a enquadrar o efluente dentro das especificações recomendadas (KEMPKA; POZZOBON, 2015; KYZAS; MATIS, 2018).

A coagulação é um processo comumente utilizado para a remoção de matéria orgânica em suspensão em águas, sendo utilizados vários agentes químicos como sais de alumínio (Al) e ferro (Fe) os quais são os coagulantes mais utilizados (KEMPKA; POZZOBON, 2015; LEE *et al.*, 2012). Outra forma de tratamento é a utilização de coagulantes de origem vegetal antes dos sais químicos. Em particular, a *Moringa Oleifera* Lam, conhecida como moringa, acácia-branca, é classificada como uma das melhores plantas para purificação de água, tendo ainda como vantagens ser biodegradável, baixo custo e reduzir os volumes de iodo liberados. A *Moringa Oleifera* Lam, pertencente à família Moringaceae, é uma planta nativa da Índia, sendo introduzida no Brasil por volta de 1950, e encontrada na região Nordeste, principalmente nos estados do Maranhão, Piauí e Ceará. Consiste em uma árvore de crescimento rápido e altamente adaptável, além de ter baixo custo de produção e rendimento elevado de frutos. A clarificação da água é feita utilizando espécies que apresentam bons resultados, principalmente a *Moringa Oleifera* Lam e *Moringa stenopetala*. Trabalhos descritos na literatura demonstram a eficiência da *Moringa oleifera* no tratamento de efluentes agroindustriais (FRIGHETTO *et al.*, 2007; STOHS; HARTMAN, 2015). Diversas são as aplicações conhecidas dos constituintes presentes na moringa, como por exemplo, na alimentação, uma vez que as folhas apresentam um alto valor nutricional e as raízes são um produto hortícola. As sementes apresentam importantes aplicações farmacológicas, como anti-inflamatórios e antimicrobianos, na fabricação de cosméticos e produção de biodiesel, devido ao alto teor de óleo (SANTOS *et al.*, 2015).

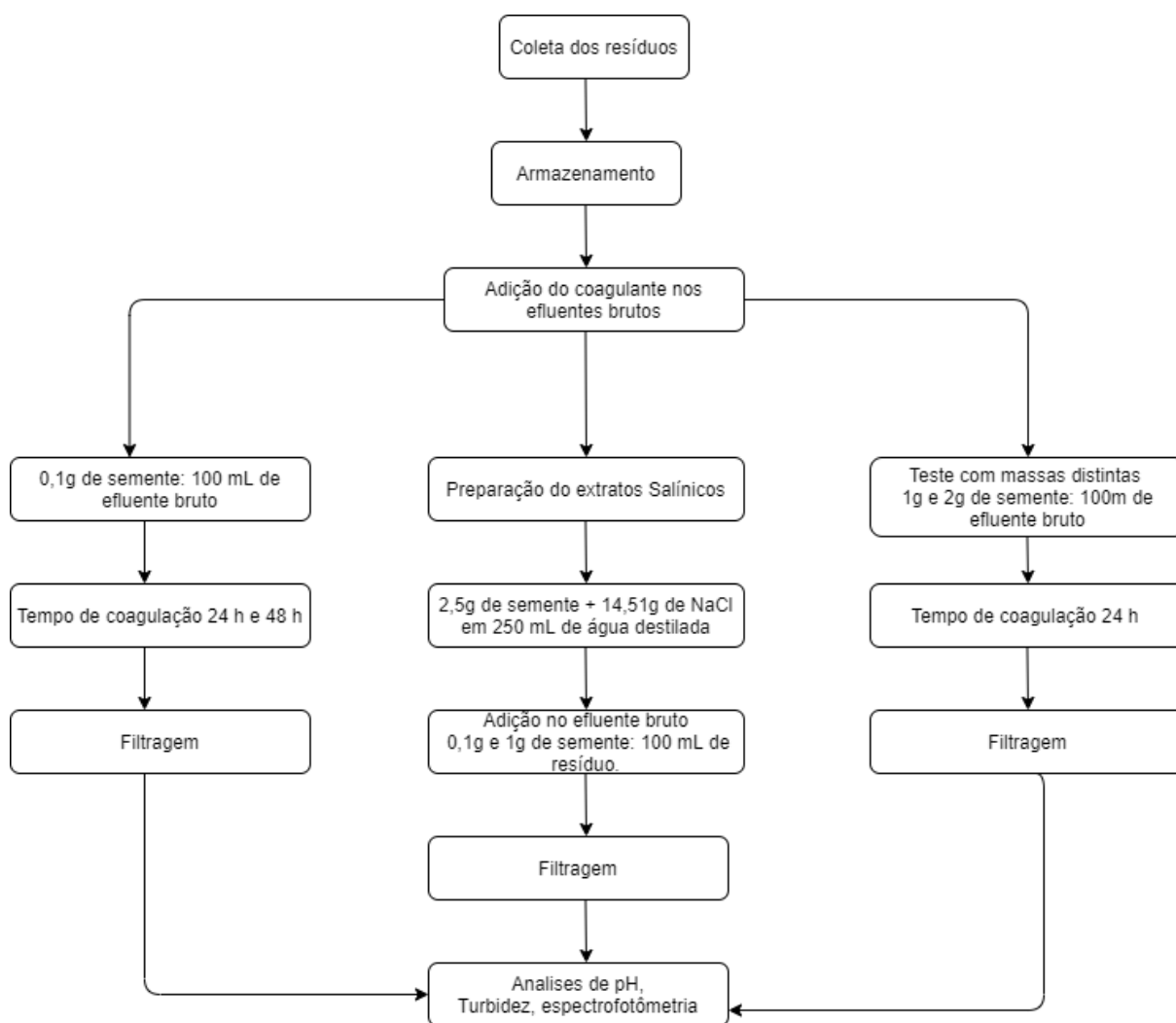
Portanto, o trabalho descrito neste capítulo, visou desenvolver e confirmar uma nova técnica para o tratamento especificamente dos efluentes obtidos da limpeza do tanque da cervejaria artesanal e da lavagem/purificação do biodiesel, visto que, segundo o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), os resíduos devem se enquadrar às recomendações para o lançamento em corpos hídricos ou em redes de esgoto. Sugere-se, através de um método recente e bastante abordado na literatura para purificação de outras misturas complexas, uma nova forma de tratamento economicamente viável utilizando a semente da *Moringa Oleifera* Lam em função da capacidade coagulativa de suas proteínas.



## METODOLOGIA

Na figura 1 está ilustrado o método utilizado nesse trabalho. A avaliação do potencial de coagulação da semente foi realizada testando-se massas distintas da semente em intervalos de tempos de 24 e 48 horas e, ainda, com a preparação de extratos a partir do mesmo material a fim de otimizar o processo estudado.

**Figura 1:** Fluxograma do método utilizado.



**Fonte:** Autoria própria, 2022.

O efluente, oriundo da etapa de lavagem dos tanques da cerveja artesanal, foi coletado na Cervejaria Prata, localizada na região sul do Espírito Santo, na cidade de Jerônimo Monteiro. O efluente do processo de lavagem do biodiesel foi fornecido pelo Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal do Espírito Santo, sendo produzido em pequena escala como rejeito em pesquisas científicas. As sementes de *Moringa Oleifera* Lam foram obtidas na cidade

de Casa Nova, Bahia, e estão sendo cultivadas na cidade de Marechal Floriano região sul do estado do Espírito Santo.

### Adição da semente ao efluente bruto

Inicialmente foi realizada a trituração das sementes de *Moringa Oleifera* Lam em um liquidificador de uso doméstico para obtenção de partículas finas com a finalidade de aumentar a superfície de contato entre as partículas dispersas nos rejeitos estudados e o agente clarificante como apresentado pela figura 2. Em seguida o material triturado foi adicionado no efluente bruto, sem tratamento prévio, nas proporções apresentadas na tabela 1, para o resíduo do processo de lavagem do tanque da cerveja artesanal, e na tabela 2, para o resíduo da lavagem do biodiesel. Cabe ressaltar que os experimentos foram realizados em triplicata e os valores médios apresentados a seguir.

**Tabela 1:** Relação massa de semente de moringa, volume de efluente bruto da cerveja artesanal e tempo de processo.

Massa (gramas)	Volume (mililitros)	Tempo (horas)
0,132 g	100 mL	24 h
0,135 g	100 mL	48 h
1,020 g	100 mL	24 h
2,022 g	100 mL	24 h

Fonte: Autoria própria, 2022.

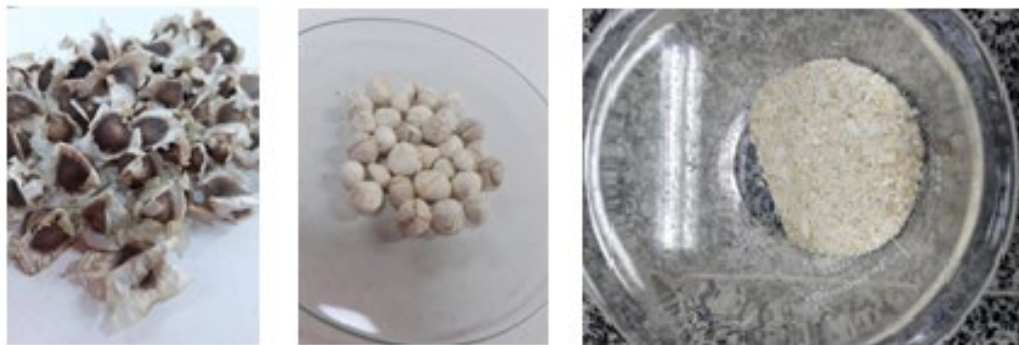
**Tabela 2:** Relação massa de semente de moringa, volume de efluente bruto do biodiesel e tempo de processo.

Massa (gramas)	Volume (mililitros)	Tempo (horas)
0,144 g	100 mL	24 h
0,141 g	100 mL	48 h
1,014 g	100 mL	24 h
2,012 g	100 mL	24 h

Fonte: Autoria própria, 2022.

As massas de *Moringa Oleifera* Lam. utilizadas como coagulante em ambos resíduos foram obtidas com auxílio da balança analítica e o volume dos efluentes foram determinados a partir de uma proveta de 100 mL sendo posteriormente transferidos para erlenmeyers de 250 mL com a finalidade desta mistura ser submetida a agitação e garantir um maior contato entre as partículas do efluente e da semente. O processo ocorreu em um intervalo de 30 minutos em um agitador magnético, com aquecimento modelo AREC da Velp, à temperatura ambiente conforme descrito na literatura (KEMPKA; POZZOBON, 2015). O sistema então foi acondicionado em repouso, por intervalos de tempos correspondentes a 24 e 48 horas a fim de permitir a decantação das partículas adsorvidas com o agente clarificante e avaliar a interferência do fator tempo neste processo.

**Figura 2:** Etapas de preparo da semente *Moringa Oleifera* Lam.



Fonte: Autoria própria, 2022.

## PREPARAÇÃO DO EXTRATO SALÍNICO

Conforme descrito na literatura, a utilização de uma extração com soluções salinas concentradas pode promover o aumento da capacidade coagulante em virtude de uma maior extração do agente coagulante presente na semente (agente ativo do processo) (FORMENTINI-SCHMITT *et al.*, 2014). Assim, com o intuito de avaliar um possível aumento no poder coagulante da semente e, conseqüentemente, verificar um melhor desempenho no potencial clarificante das amostras em questão, procedeu-se a realização da extração dos componentes ativo das sementes de *M. Oleifera* Lam, utilizando-se uma solução salina de NaCl na concentração de 1M (THEODORO *et al.*, 2014).

Para a preparação do extrato, pesou-se 2,5 g da semente e adicionou-se a 250 mL da solução de NaCl 1M. A suspensão foi então levada a agitação por um intervalo de 30 min em baixa velocidade, permitindo o maior contato entre a solução e a semente. Em seguida o sistema foi mantido em repouso por 24 h. Passado o período de extração, realizou-se a filtração com auxílio de uma bomba a vácuo, Kitassato, papel de filtro e funil de Buchner, sendo obtido um precipitado branco o qual foi então adicionado aos rejeitos em estudo (PEREIRA *et al.*, 2015).

A fim de verificar para uma mesma faixa de tempo a eficiência do agente coagulante, inseriu-se diferentes massas do precipitado, como apresentado nas tabelas 3 e 4.

**Tabela 3:** Relação massa de semente, volume de efluente bruto do biodiesel e tempo de processo.

Massa (gramas)	Volume (mililitros)	Tempo (horas)
0,132 g	100 mL	24 h
1,014 g	100 mL	24 h

Fonte: Autoria própria, 2022.

**Tabela 4:** Relação massa de semente, volume de efluente bruto da cerveja e tempo de processo.

Massa (gramas)	Volume (mililitros)	Tempo (horas)
0,119 g	100 mL	24 h
1,020 g	100 mL	24 h

Fonte: Autoria própria, 2022.

### Procedimento da análise de turbidez

Decorrido o tempo estipulado do processo de coagulação para cada amostra dos resíduos estudados, procedeu-se com as análises a fim de verificar o potencial coagulante da semente de *Moringa Oleifera* Lam. As amostras obtidas do processo de clarificação, foram submetidas à filtração simples utilizando uma bomba de vácuo, funil de Buchner, papel de filtro e Kitassato, com o intuito de retirar a matéria coagulada. Com o auxílio do Turbidímetro PoliControl AP 2000, determinou-se os valores de turbidez de cada amostra de maneira direta.

### Procedimento da análise de absorvância

Analogamente a análise de turbidez, seguiu-se com as amostras para a análise de espectrometria UV-Visível, como o intuito de verificar a quantidade de partículas dispersas nos efluentes. Utilizando o Espectrofotômetro Kasuaki no comprimento de onda de 690 nm, valor obtido na literatura por Pereira et al., determinou-se o valor de absorvância para cada amostra (PEREIRA *et al.*, 2015).

### Procedimento da análise de PH.

Utilizando-se o equipamento pHmetro microprocessado Quimis devidamente calibrado, aferiu-se as medidas de pH de cada amostra, a fim de verificar a ocorrência de alteração no valor quando comparado ao efluente bruto. Cabe ressaltar que todo o procedimento aqui descrito foi conduzido em laboratórios da Universidade Federal do Espírito Santo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a filtração das amostras observou-se uma pequena quantidade de matéria orgânica coagulada do processo. O resíduo de lavagem dos tanques da cervejaria artesanal é composto por boa parte de proteínas, açúcares, amidos, dentre outros e o da lavagem do biodiesel é composto basicamente por lipídeos como mostra a figura 3. Essa matéria orgânica coagulada pode ser aplicada como adubo orgânico em plantas.

**Figura 3:** Amostra obtida após o processo de coagulação do resíduo da lavagem dos tanques da cervejaria artesanal e da lavagem do biodiesel.



Fonte: Autoria própria, 2022.

### Resultado da análise de Turbidez

Após a coagulação e a filtração das amostras, foi possível coletar os dados referentes aos valores de turbidez para ambos os resíduos. O objetivo desta análise é determinar a quantidade de luz atravessando a amostra. Tal parâmetro é amplamente utilizado para verificar a dificuldade que um feixe de luz encontra para atravessar uma quantidade de água, neste caso do resíduo. Quanto maior o valor de turbidez, maior a quantidade de partículas presentes. Cabe ressaltar que as partículas em suspensão podem ser areia, barro e microrganismos. Nos efluentes em questão é possível observar um alto valor de turbidez.

**Tabela 5:** Resultado da análise de Turbidez em NTU do efluente da cerveja artesanal com os métodos de aplicação direta (adição da semente ao resíduo) e extrato (adição do extrato no resíduo).

Massa (gramas)	Método	Volume (mililitros)	Tempo (horas)	Turbidez (NTU)	Redução/Aumento Percentual
0,132 g	Direto	100 mL	24 h	31,4	94%
0,135 g	Direto	100 mL	48 h	47,2	91%
0,119 g	Extrato	100 mL	24 h	79	84,8%
1,020 g	Direto	100 mL	24 h	50,9	90,2%
1,020 g	Extrato	100 mL	24 h	43,7	91,6%
2,022 g	Direto	100 mL	24 h	48,5	90,7%
Efluente Bruto	-	-	-	523	-

Fonte: Autoria própria, 2022.

**Tabela 6:** Resultado da análise de Turbidez em NTU do efluente do Biodiesel com os métodos de aplicação direta (adição da semente ao resíduo) e extrato (adição do extrato no resíduo).

Massa (gramas)	Método	Volume (mililitros)	Tempo (horas)	Turbidez (NTU)	Redução/Aumento Percentual
0,144 g	Direto	100 mL	24 h	72,1	78,2%
0,141 g	Direto	100 mL	48 h	119	64%
0,132 g	Extrato	100 mL	24 h	197	40,4%
1,014 g	Direto	100 mL	24 h	366	11%
1,014 g	Extrato	100 mL	24 h	836	152%
2,012 g	Direto	100 mL	24 h	589	77,9%
Efluente Bruto	-	-	-	331	-

Fonte: Autoria própria, 2022.

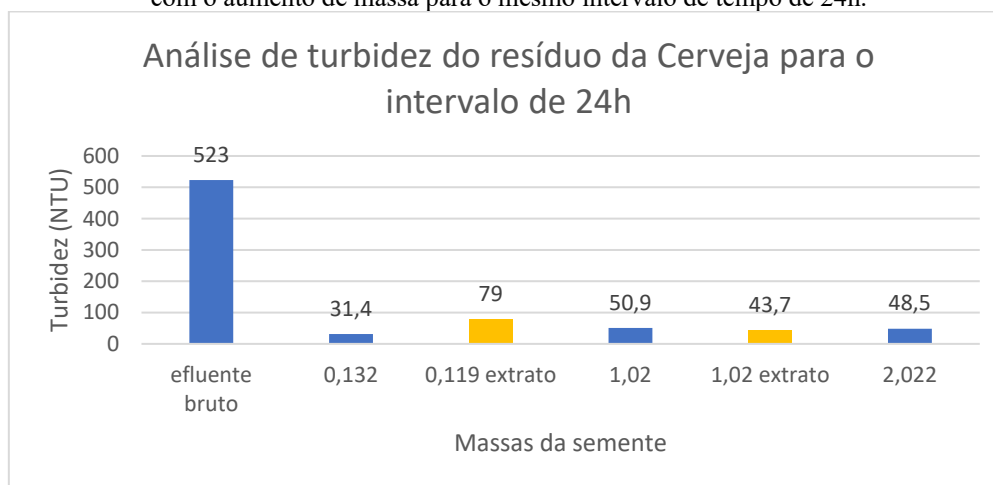
Analisando os valores apresentados na tabela 5, referente ao processo de clarificação das amostras contendo resíduo do processo de lavagem dos tanques da cervejaria artesanal, pode-se dizer que em relação ao efluente bruto, ocorreu uma significativa redução do nível de turbidez. Observando na literatura a descrição sobre como ocorre o processo de clarificação utilizando a semente de moringa, podemos associá-lo com a atuação de um sistema de partículas coloidais onde a proteína glutamina de alta densidade, neutraliza as cargas e se liga com pontes de hidrogênio as partículas presentes no meio. Este processo é responsável pela formação de flocos e, conseqüente, sedimentação dos compostos. Sabe-se que boa parte do resíduo da cerveja é composto por açúcares e proteínas precipitadas do processo de fermentação, favorecendo assim a floculação, uma vez que, as proteínas tendem a se ligar umas às outras formando cadeias enormes. Percebe-se conforme na tabela 6 que para o tempo de 24h com aproximadamente 0,1g de semente, foi possível reduzir a turbidez em 94%. Valor expressivo para um curto prazo de tempo e baixa quantidade de coagulante. Pode-se notar também que o aumento no tempo de coagulação não resultou necessariamente em um valor menor do parâmetro de turbidez, em relação a mesma concentração de semente aproximada, como se esperava. Isso pode ser explicado devido a ligação com baixa afinidade entre a proteína glutamina e compostos presentes no rejeito, que com passar do tempo pode se romper e fazendo com que estes compostos retornem para o sobrenadante.

Observando-se os dados da tabela 6, para o resíduo do processo de lavagem do biodiesel, no tempo de 24h e com quantidade de aproximadamente 0,1g nota-se que ocorreu uma redução de 78,2% no parâmetro de turbidez, semelhante ao observado para o resíduo da cerveja artesanal. O aumento no tempo de coagulação não resultou em valores melhores para redução do nível de turbidez como o esperado. Podemos explicar esse fato do mesmo modo que para o resíduo cerveja artesanal, mas com o agravante da presença do óleo que dificultou a ação da

semente de moringa. Em comparação com o resíduo do processo de lavagem dos tanques da cervejaria artesanal, o resultado não apresentou um valor tão expressivo para a redução de turbidez, no entanto foi satisfatório considerando a composição do resíduo, que é em sua maioria formada por lipídios os quais dificultam a interação do composto coagulante com as partículas do efluente, bem como, a baixa afinidade das proteínas com o meio.

Para facilitar a visualização do resultado em relação ao aumento de massa e da aplicação do extrato no processo de clarificação, expressou-se os valores de turbidez obtidos, em gráficos para uma mesma faixa de tempo, uma vez que, no tempo de 24h para ambos os resíduos se obteve os melhores resultados em relação a redução da turbidez.

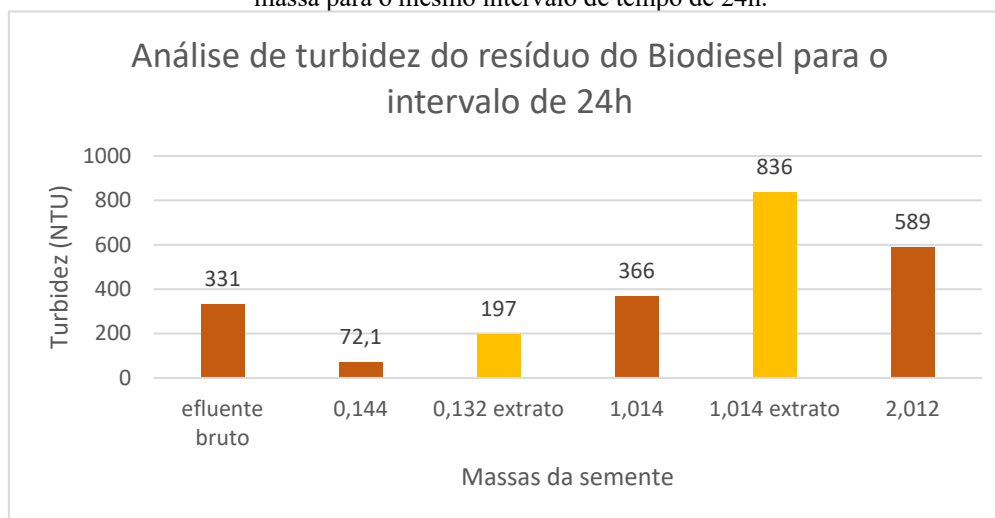
**Figura 4:** Gráfico do comportamento da turbidez para o resíduo da lavagem dos tanques da Cervejaria Artesanal com o aumento de massa para o mesmo intervalo de tempo de 24h.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Verifica-se na figura 4 que o aumento de massa do agente coagulante, bem como a preparação do extrato, não resultou em números superiores do que comparado ao valor mínimo de 0,132g de semente no método direto, como se esperava, já que o aumento de massa levaria um aumento do agente coagulante e o preparo do extrato isolaria a proteína utilizada no processo estudado. Todavia, em suma, os números em relação ao efluente bruto mostraram a eficiência do referido processo de clarificação. Em média a redução em relação ao efluente bruto para o aumento de massa e aplicação do extrato foi de 91,6% e 88,2% respectivamente.

**Figura 5:** Gráfico do comportamento da turbidez para o resíduo da lavagem do Biodiesel com o aumento de massa para o mesmo intervalo de tempo de 24h.



**Fonte:** Autoria própria, 2022.

Analogamente, a figura 5 demonstra que o aumento na massa de semente para o processo de clarificação do resíduo do processo de lavagem do Biodiesel não apresentou melhora significativa no parâmetro de turbidez quando comparado a massa mínima do método direto. Similarmente, a utilização do extrato e o aumento da massa no método direto para esse resíduo, não resultou na otimização do processo coagulativo como esperado. Analisando cada situação separadamente, pode-se explicar o fato de o aumento da massa não ter auxiliado no processo de clarificação das amostras, uma vez que, o aumento da quantidade esperada de proteína também ocasiona o aumento de espécies indesejáveis para a coagulação, como é o caso da presença de lipídios que dificultam a interação das partículas presentes nos resíduos. Além disso pode-se observar um acúmulo de massa somada ao óleo presente no resíduo, formando uma espécie de pasta, o que dificultou a ação da semente. Em relação ao extrato, acredita-se que algum composto indesejável tenha interferido no processo e, assim, interagido com as partículas presente no resíduo. Uma pesquisa mais profunda poderia pontuar a presença de compostos indesejáveis. A utilização de um processo em conjunto para redução da quantidade de óleo seria conveniente para que assim resultasse em valores bem mais expressivos na redução de turbidez.

Em suma o que foi observado em relação ao aumento da massa do agente coagulante em ambos os resíduos, não se assemelha aos resultados obtidos por Paterniani, Mantovani e Sant'anna (2009), os quais apresentaram melhores reduções no parâmetro de turbidez de águas superficiais, com uma alta concentração do agente coagulante e em reduzido tempo do processo de coagulação. Embora a presença de alguns compostos interfere nos resultados, ainda é



possível trabalhar com a semente de moringa no processo de coagulação de resíduos industriais, uma vez que, demonstrou uma alta eficiência mesmo considerando a presença desses compostos indesejáveis (PATERNIANI *et al.*, 2009).

### Resultado da análise de absorbância

O objetivo da realização da espectrometria UV é verificar quantidade de partículas suspensas nas amostras, tendo em vista que, o princípio básico dessa análise é que cada composto absorve ou transmite luz em um determinado comprimento de onda. Dessa forma, a medida obtida pelo espectrômetro também pode ser usada para medir a quantidade de uma substância química, ou seja, verificar a quantidade de partículas suspensas nos resíduos.

**Tabela 7:** Resultado da análise de Absorbância do efluente da Cerveja com os métodos de aplicação direta (adição da semente ao resíduo) e extrato (adição do extrato no resíduo).

Massa (gramas)	Método	Volume (mililitros)	Tempo (horas)	Absorbância	Redução/Aumento Percentual
0,132 g	Direto	100 mL	24 h	0,156	76,2%
0,135 g	Direto	100 mL	48 h	0,400	39%
0,119 g	Extrato	100 mL	24 h	0,673	2,5%
1,020 g	Direto	100 mL	24 h	0,101	84,6%
1,020 g	Extrato	100 mL	24 h	0,090	86,3%
2,022 g	Direto	100 mL	24 h	0,101	84,6%
Efluente Bruto	-	-	-	0,656	-

Fonte: Autoria própria, 2022.

**Tabela 8:** Resultado da análise de Absorbância do efluente do Biodiesel com os métodos de aplicação direta (adição da semente ao resíduo) e extrato (adição do extrato no resíduo).

Massa (gramas)	Método	Volume (mililitros)	Tempo (horas)	Absorbância	Redução/Aumento Percentual
0,144 g	Direto	100 mL	24 h	0,564	44%
0,141 g	Direto	100 mL	48 h	0,872	13,4%
0,132 g	Extrato	100 mL	24 h	1,481	46,9%
1,014 g	Direto	100 mL	24 h	1,351	34%
1,014 g	Extrato	100 mL	24 h	2,105	108,8%
2,012 g	Direto	100 mL	24 h	0,980	2,7%
Efluente Bruto	-	-	-	1,008	-

Fonte: Autoria própria, 2022.

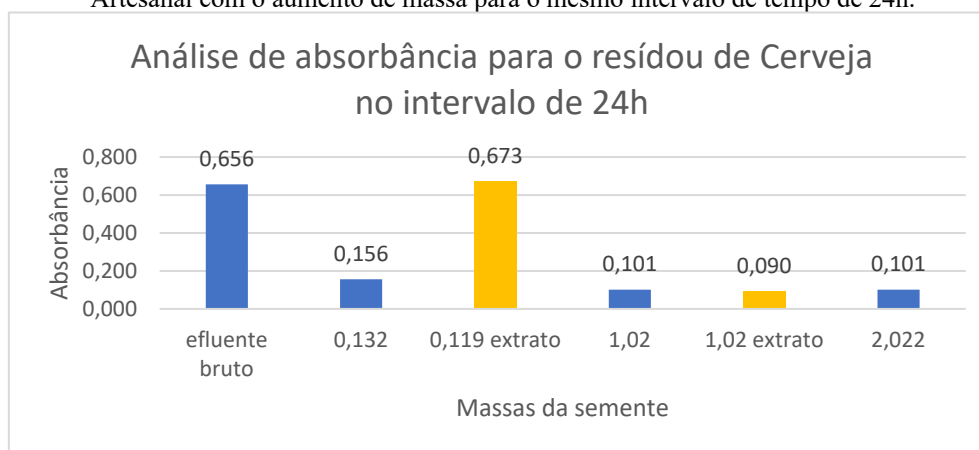
Conforme exposto pela tabela 7, ocorreu uma redução na quantidade partículas suspensas em relação ao efluente bruto do processo de lavagem dos tanques da cervejaria artesanal. Analisando os resultados para o aumento no tempo de coagulação é possível verificar que não resultou na redução de partículas suspensas nos resíduos como se esperava. Isto se deve ao fato da baixa afinidade da proteína com as partículas dispersas no resíduo, que com o passar

do tempo, se desprendem da cadeia e retornam ao meio. Utilizando-se o extrato, 1,020g, no intervalo de 24h, obteve-se uma redução na absorção de luz UV. Em termos de porcentagem, o valor é de aproximadamente 86,28%. Cabe ressaltar que para a análise de absorbância foi utilizada, como branco, a água destilada, visto que a composição de tais resíduos é abrangente, e o presente estudo não focou em eliminar um único composto, mas sim, verificar a eficiência da semente de *Moringa Oleifera* Lam na clarificação. Portanto os valores obtidos estão comparados com a quantidade de partículas suspensas na água destilada.

Da mesma forma para os dados obtidos para o efluente do processo de lavagem do Biodiesel presente na tabela 8, observa-se que para a massa de coagulante de 0,144g no intervalo de tempo de 24h uma redução na quantidade partículas suspensas de aproximadamente de 44,04%. A fim de facilitar o entendimento dos resultados considerando o aumento de massa e a utilização do extrato no processo de clarificação, expressou-se os valores de absorbância obtidos, em gráficos para uma mesma faixa de tempo, uma vez que, no tempo de 24h para ambos os resíduos se obteve os melhores resultados.

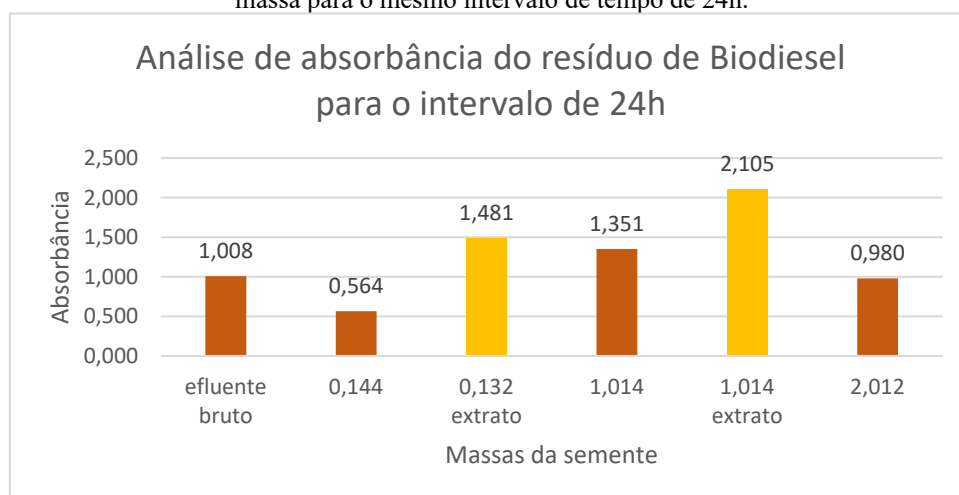
Analisando os gráficos nas figuras 6 e 7, é possível dizer que para o mesmo período, se obteve uma clarificação expressiva considerando a utilização da semente como coagulante em ambos os resíduos. Vale ressaltar que os gráficos apresentados se assemelham com o comportamento obtido na análise de turbidez. Assim pode-se dizer que para o efluente da lavagem dos tanques da cervejaria artesanal, o processo de clarificação demonstrou-se mais eficiente com a massa de 1,02g do agente coagulante e, também, com a utilização de 1,02g do extrato. Com relação ao efluente de Biodiesel, o aumento de massa da semente não interferiu na coagulação, bem como, a utilização do extrato. Conforme supracitado a presença de óleo no resíduo dificultou a ação do agente coagulante.

**Figura 6:** Gráfico do comportamento da Absorbância para o resíduo da lavagem dos tanques da Cervejaria Artesanal com o aumento de massa para o mesmo intervalo de tempo de 24h.



Fonte: Autoria própria, 2022.

**Figura 7:** Gráfico do comportamento da Absorbância para o resíduo da lavagem do Biodiesel com o aumento de massa para o mesmo intervalo de tempo de 24h.



Fonte: Autoria própria, 2022.

## RESULTADO DA ANÁLISE DE PH

Com o intuito de verificar a possível alteração no valor de pH das amostras, o presente trabalho realizou a leitura de pH, considerando que na composição da semente encontra-se aminoácidos ácidos (ácido glutâmico) e básicos (arginina).

**Tabela 9:** Resultado da análise de pH do efluente da Cerveja artesanal com os métodos de aplicação direta (adição da semente ao resíduo) e extrato (adição do extrato no resíduo).

Massa (gramas)	Método	Volume (mililitros)	Tempo (horas)	pH	Redução/Aumento Percentual
0,132 g	Direto	100 mL	24 h	3,613	6,5%
0,135 g	Direto	100 mL	48 h	3,338	1,5%
0,119 g	Extrato	100 mL	24 h	3,6	6,1%
1,020 g	Direto	100 mL	24 h	3,811	14,9%
1,020 g	Extrato	100 mL	24 h	3,718	11,5%
2,022 g	Direto	100 mL	24 h	3,899	14,9%
Efluente Bruto	-	-	-	3,391	-

Fonte: Autoria própria, 2022.

**Tabela 10:** Resultado da análise de pH do efluente do Biodiesel com os métodos de aplicação direta (adição da semente ao resíduo) e extrato (adição do extrato no resíduo).

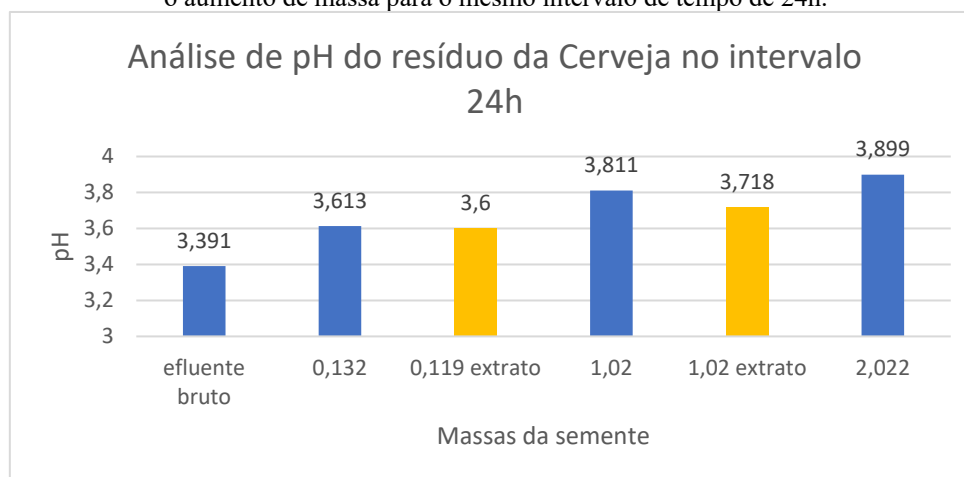
Massa (gramas)	Método	Volume (mililitros)	Tempo (horas)	pH	Redução/Aumento Percentual
0,144 g	Direto	100 mL	24 h	12,921	2,5%
0,141 g	Direto	100 mL	48 h	12,943	2,4%
0,132 g	Extrato	100 mL	24 h	12,446	6,1%
1,014 g	Direto	100 mL	24 h	12,008	9,4%
1,014 g	Extrato	100 mL	24 h	12,414	6,4%
2,012 g	Direto	100 mL	24 h	11,449	13,6%
Efluente Bruto	-	-	-	13,259	-

Fonte: Autoria própria, 2022.

Com base na tabela 9, percebe-se que para o efluente da lavagem dos tanques da cervejaria artesanal, ocorreu uma pequena alteração no valor de pH, bem como no resíduo de lavagem do Biodiesel, tabela 10. A alteração observada é devido ao perfil bioquímico da proteína coagulativa a qual apresenta ponto isoelétrico entre pH 10 e 11. Sabe-se que nessa faixa de pH, a proteína apresenta carga elétrica líquida igual a 0, ou seja, permanece estável. O que se observa é que a união dos aminoácidos que caracterizam a proteína da semente de *Moringa Oleifera* Lam atua como solução tampão, isto é, independente do meio são capazes de receber e doar próton. Em termos de porcentagem, dados da tabela 10, para 2,012g da aplicação direta da semente no intervalo de 24h a redução é de 13,65%. Com o intuito de verificar o comportamento da variação de pH das amostras com o aumento de massa e com a utilização do extrato, construiu-se os gráficos para o intervalo de tempo de 24h.

Como é possível verificar na figura 8, com o aumento de massa da semente, o pH do resíduo da cervejaria artesanal aumentou em relação ao efluente bruto para a mesma faixa de tempo, aumentando também a concentração da solução tampão já mencionada. O aumento no valor de pH observado para a amostra de 2,022 g da aplicação direta da semente no intervalo de 24h é de 14,9%.

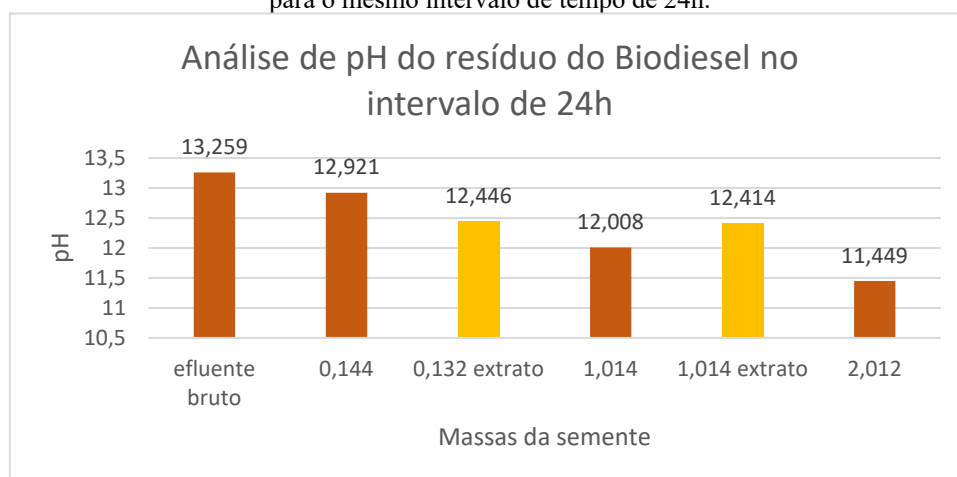
**Figura 8:** Gráfico do comportamento do pH para o resíduo da lavagem dos tanques da Cervejaria Artesanal com o aumento de massa para o mesmo intervalo de tempo de 24h.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Conforme observa-se na figura 9, com o aumento de massa do coagulante o pH do meio diminui, isso pode ser explicado, devido a interação dos ácidos de cadeia longa com o NaOH presente no resíduo. Uma redução do valor de pH com o aumento da concentração do ácido presente na semente de *Moringa Oleifera* Lam demonstra um ponto positivo quanto a utilização de maior massa do agente coagulante.

**Figura 9:** Gráfico do comportamento do pH para o resíduo da lavagem do Biodiesel com o aumento de massa para o mesmo intervalo de tempo de 24h.



Fonte: Autoria própria, 2022.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentado neste capítulo, mostrou que os resíduos do processo de produção do Biodiesel e da cervejaria artesanal, foram clarificados utilizando como agente coagulante a semente de *Moringa Oleifera* Lam. A verificação do potencial de coagulação foi avaliada pelas análises de turbidez e absorvância, bem como, por meio do teste de pH, com intuito de verificar outro potencial da semente em estudo. Com base nos resultados, é possível concluir que:

- Conforme apresentado pelas análises de turbidez e absorvância, a semente de *Moringa Oleifera* Lam atuou de maneira significativa na redução de partículas suspensas em ambos os resíduos. Considerando os resultados mais expressivos, pode-se notar que para a coagulação utilizando a semente, não é necessário demandar um intervalo de tempo extenso, visto que, para o tempo de 24h obteve-se resultados consideráveis e nem tão pouco massas amplas, como o observado para 0,1g. Como esperado para o resíduo do processo de limpeza dos tanques da cervejaria artesanal, o resultado de clarificação foi superior do que o observado no resíduo de lavagem do Biodiesel, uma vez que, a composição de tal efluente é em sua maioria óleo o que dificulta o trabalho de coagulação da semente. Em síntese, a aplicação direta da semente, mesmo com composições distintas dos resíduos, resultou em reduções expressivas de materiais suspensos, apresentando assim bom desempenho no processo de coagulação.

- O preparo do extrato salínico não auxiliou de maneira considerável no processo estudado. No entanto, cabe maiores estudos em sua preparação, assim como, outros tipos de extratos, a fim de auxiliar o processo de coagulação.

## REFERÊNCIAS

BONGAERTS, D.; DE ROOS, J.; DE VUYST, L. Technological and environmental features determine the uniqueness of the lambic beer microbiota and production process. **Applied and Environmental Microbiology**, 87, n. 18, p. e00612-00621, 2021.

CAMARGO, R. C. **Avaliação do potencial poluidor dos efluentes gerados em processo de fabricação de cervejas**. 2012. 98 f. (Dissertação de Mestrado) -, Universidade De Ribeirão Preto.

DRIESSEN, W.; VEREIJKEN, T., 2003, **Recent developments in biological treatment of brewery effluent**. 2-7.

ENITAN, A. M.; SWALAHA, F. M.; ADEYEMO, J.; BUX, F. Assessment of brewery effluent composition from a beer producing industry in KwaZulu-Natal, South Africa. **Fresenius environmental bulletin**, 23, n. 3, p. 693-701, 2014.

FORMENTINI-SCHMITT, D. M.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; VEIT, M. T.; BERGAMASCO, R. *et al.* Estudo da eficiência do composto ativo de Moringa Oleífera extraída com soluções salinas na tratabilidade de águas residuárias da indústria de laticínios. **Revista Engevista**, 16, n. 2, p. 221-231, 2014.

FRIGHETTO, R.; FRIGHETTO, N.; SCHNEIDER, R.; FERNANDES LIMA, P. O potencial da espécie Moringa oleifera (Moringaceae). I. A planta como fonte de coagulante natural no saneamento de águas e como suplemento alimentar. **Embrapa Meio Ambiente-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2007.

GAUDENCIO, B. O. **Avaliação do desempenho de dois reatores anaeróbios de leito fixo e fluxo ascendente alimentados com efluente de indústria cervejeira**. 2013. 52 f. (Tese de Doutorado) -, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

GEBREMARIAM, S.; MARCHETTI, J. Economics of biodiesel production. **Energy Conversion and Management**, 168, p. 74-84, 2018.

GIORGI, V. V. “Cultos em cerveja”: discursos sobre a cerveja artesanal no Brasil. **Sociedade e Cultura**, 18, n. 1, p. 101-111, 2015.

KEMPKA, A. P.; POZZOBON, L. Sementes de moringa oleifera na clarificação de efluente de indústria de ingredientes para alimentação animal: comparação com o coagulante convencional e estudo das condições operacionais. **Engevista**, 17, n. 2, p. 196-206, 2015.

KYZAS, G. Z.; MATIS, K. A. Flotation in water and wastewater treatment. **Processes**, 6, n. 8, p. 116, 2018.

LEE, K. E.; MORAD, N.; TENG, T. T.; POH, B. T. Development, characterization and the application of hybrid materials in coagulation/flocculation of wastewater: A review. **Chemical Engineering Journal**, 203, p. 370-386, 2012.

MA, F.; HANNA, M. A. Biodiesel production: a review. **Bioresource technology**, 70, n. 1, p. 1-15, 1999.

MARCHETTI, J.; MIGUEL, V.; ERRAZU, A. Possible methods for biodiesel production. **Renewable and sustainable energy reviews**, 11, n. 6, p. 1300-1311, 2007.

MOUSAVI, S. A.; KHODADOOST, F. Effects of detergents on natural ecosystems and wastewater treatment processes: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, 26, n. 26, p. 26439-26448, 2019.

PALOMINO-ROMERO, J. A.; LEITE, O. M.; EGUILUZ, K. I. B.; SALAZAR-BANDA, G. R. *et al.* Tratamentos dos efluentes gerados na produção de biodiesel. **Química Nova**, 35, n. 2, p. 367-378, 2012.

PATERNIANI, J. E.; MANTOVANI, M. C.; SANT'ANNA, M. R. Uso de sementes de Moringa oleifera para tratamento de águas superficiais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 13, p. 765-771, 2009.

PEREIRA, H. V.; MORO, P.; MILANI, P. G.; DA COSTA, S. C. Clarificação do Extrato Aquoso de Stevia rebaudiana (bert.) Bertoni, Utilizando Polímero Natural Extraído da Moringa oleifera. **Blucher Biochemistry Proceedings**, 1, n. 2, p. 299-302, 2015.

RAMOS, C. N.; NASCIMENTO, L. S.; SILVA, M. N. Biodiesel obtido através de resíduos: energia limpa que vem dos restos. **Revista De Divulgação Do Projeto Universidade Petrobras E If Fluminense**, 1, p. 151-156, 2010.

SANTOS, A. F.; JUNIOR, S.; SANTOS, R.; RUSSO, S., 2015, **Prospecção tecnológica da moringa oleifera no tratamento de água**. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECHNOLOGY AND INNOVATION, 2015. 254-262.

STOHS, S. J.; HARTMAN, M. J. Review of the safety and efficacy of Moringa oleifera. **Phytotherapy Research**, 29, n. 6, p. 796-804, 2015.

THEODORO, J. D. P.; PEREIRA, E. R.; VEIT, M. T.; BERGAMASCO, R. B. *et al.* Estudo de extração salina da semente de Moringa Oleifera Lam aplicado na remoção do parâmetro cor para o tratamento de água potável. **Revista tecnológica**, p. 275-283, 2014.

VANDERHAEGEN, B.; NEVEN, H.; COGHE, S.; VERSTREPEN, K. *et al.* Bioflavoring and beer refermentation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 62, n. 2, p. 140-150, 2003.

# CAPÍTULO 21

## RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM GRUPOS INTERATIVOS: UMA INTENÇÃO DIDÁTICA PARA O ENSINO DE COMBINÁTORIA NO ENSINO FUNDAMENTAL

**Renato Duarte Gomes**  
**Marcelo Gomes Germano**

### RESUMO

Muitas são as dificuldades apresentadas pelos estudantes dos Anos Iniciais e Finais do Ensino Fundamental, na compreensão e nas formas de resolver problemas que exploram o raciocínio combinatório desde o conceito aos diferentes significados de Combinatória. Percebendo as possibilidades que o professor na sala de aula com sua intenção e transposição didática, podem oferecer para minimizar tais dificuldades, esta pesquisa objetiva refletir as contribuições da metodologia da Resolução de Problemas aplicada em Grupos Interativos como uma intenção didática para ensinar Combinatória no Ensino Fundamental. Não buscamos um modelo ideal de proposta ou atividade que garanta em sua aplicação o alcance e total construção do conhecimento necessário para os estudantes. Seguimos motivados em contribuir com a aprendizagem dos estudantes e consequentemente com o aperfeiçoamento dos professores, através da Formação Continuada dos professores quem ensinam Matemática. Por isso, esta pesquisa surge da necessidade de refletir como o estudante compreende o significado de Combinatória e como o representa a partir da Resolução de Problemas e como esse mesmo estudante, idealiza a construção do conceito e do raciocínio de Combinatória, dialogando em Grupos Interativos. A partir desse entendimento, buscaremos analisar as estratégias de ensino e métodos utilizados pelos professores que por muitas vezes não são suficientes para promoção da aprendizagem, visando propor uma nova intenção didática no que pensamos em ensinar Combinatória no Ensino Fundamental. Os resultados encontrados auxiliarão na análise qualitativa e na discussão dos dados para a construção de um Produto Final para o Mestrado Profissional, produto este que também apoiará o trabalho formativo para os professores da Educação Básica. Contudo, esperamos que esta pesquisa contribua para uma significativa reflexão para a prática do professor e como essa prática pode ser melhor desenvolvida, preocupando-se com a intenção e a transposição didática de quem ensina e para quem aprende Combinatória.


**PALAVRAS-CHAVE:** Ensino de Combinatória. Grupos Interativos. Resolução de Problemas.

### INTRODUÇÃO

As discussões acerca de Ensino e Aprendizagem em Matemática é crescente no Brasil e mundialmente. Exames nacionais e estudos apontam um grande índice de desigualdades na aprendizagem dos estudantes em muitas áreas do conhecimento, e nesse caso, especialmente em Matemática.

O ensino da Matemática vem sofrendo grandes mudanças na maioria dos países, visando substituir o ensino tradicional, que leva os estudantes a uma memorização de conteúdo





a uma aprendizagem de técnicas e fórmulas de uso imediato. No contexto educacional, a Matemática é mais do que isso, ela desempenha um papel importante na formação escolar de cada estudante, permitindo o desenvolvimento de competências, habilidades, raciocínios e estratégias, e está intrinsecamente presente nas diversas situações cotidianas.


Avaliações e Exames Nacionais apontam baixa proficiência dos estudantes, dos Ensinos Fundamental e Médio, no tocante ao ensino e aprendizagem de Combinatória. Embora exista todo o esforço e interesse que o professor condiciona para que os estudantes aprendam, ainda não está sendo suficiente para promover a aprendizagem dos estudantes através da sua respectiva transposição didática quando se propõe ensinar Combinatória.

Em outras palavras, estudos como os de Pessoa e Borba (2009) abordam alguns problemas relacionados as não aprendizagens no processo de ensino e aprendizagem deste conceito, sobretudo pela não compreensão, por parte dos estudantes, do seu significado nas suas diferentes abordagens (produto cartesiano, arranjo, permutação e combinação) e na transposição didática do professor na exploração desse raciocínio combinatório.

Este artigo busca refletir as contribuições da metodologia da Resolução de Problemas aplicada em Grupos Interativos como uma intenção didática para ensinar Combinatória no Ensino Fundamental. Para isto, propomos a observação e análise das interações entre estudantes, professor e voluntários da comunidade escolar para levantar evidências nas discussões e representações acerca da compreensão do conceito de Combinatória, por parte dos estudantes, e os registros utilizados para representar o significado de Combinatória nas suas diferentes abordagens.

Após uma breve reflexão sobre os argumentos aqui apresentados, este artigo pretende contribuir com uma discussão sobre três aspectos, (1) o ensino de Combinatória apontado pelas diretrizes educacionais vigentes, (2) a compreensão e conhecimento acerca dos Grupos Interativos, sendo este uma atuação educativa de êxito do Projeto Comunidades de Aprendizagem, e (3) uma abordagem teórica sobre as contribuições da metodologia da Resolução de Problemas no ensino da Matemática.

Neste trabalho, buscamos apoiar nossas discussões com vistas nos principais estudos de PESSOA E BORBA (2009) – Ensino de Combinatória –, MELLO, BRAGA e GABASSA (2012) – Grupos Interativos – e ALLEVATO E ONUCHIC (2004; 2009; 2014) – Resolução de Problemas –, entre outros. Considerando as bases teóricas e o objetivo deste trabalho, propomos



responder a seguinte questão: Quais as contribuições da Resolução de Problemas em Grupos Interativos no ensino de Combinatória?

Com foco específico nas contribuições da Resolução de Problemas em Grupos Interativos para o ensino de Combinatória, busca-se investigar as implicações desse trabalho com os professores de Matemática do Ensino Fundamental – Anos Iniciais e Finais, fomentando a formação continuada para esses profissionais e permitindo aprimorar suas práticas, melhorar o conhecimento dos seus estudantes e o seu próprio conhecimento profissional.

Nessa perspectiva, este trabalho foi pensado para experimentar a adição de uma metodologia cientificamente defendida na Matemática integrando-a em uma atuação educativa de êxito, muito concebida e aplicada nas aulas de Matemática em vários países. A aplicação desta pesquisa e dos resultados encontrados, permitirá a construção de um Produto Final para o curso de Mestrado Profissional da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB.

Deste modo, o presente trabalho segue organizado em 2 sessões, além desta introdução, apresentando o Referencial Teórico e as Considerações Finais, oferecendo importantes reflexões de uma intenção didática proposta para o ensino de Combinatória. Por se tratar de uma pesquisa ainda em andamento, os Aspectos Metodológicos da Pesquisa, a Análise dos dados e as Discussões dos resultados não serão tratadas neste artigo.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Muitos são os desafios encontrados no ensino de Matemática na Educação Básica. Currículos e Diretrizes Educacionais tem norteado caminhos para o planejamento pedagógico do professor e com isso, outros recursos e estratégias metodológicas são imprescindíveis para o sucesso da aprendizagem dos estudantes. No Ensino Fundamental, seja nos Anos Iniciais ou Finais, muitos conteúdos matemáticos são resgatados ano após ano, mas alguns deles são abordados muitas vezes de forma muito tímida ou até mesmo, superficialmente.

O ensino de Combinatória no Ensino Fundamental nos traz uma atenção especial. Ensinar Combinatória nem sempre é tão visível e proposto nesta etapa de escolaridade. Os estudos de Combinatória de Pessoa e Borba (2009), apontam lacunas no processo de ensino e aprendizagem dos estudantes, desde seu significado, nas suas diferentes abordagens a não aplicação das estratégias adequadas frente às situações problemas que abordam este conceito.

Documentos curriculares sinalizam que, atividades que explorem a representação e a contagem em uma situação de Combinatória devem levar o estudante à construção do conceito



de princípio multiplicativo como recurso fundamental, mas não único, na resolução de diversos problemas. Pesquisas afirmam que:


Nos últimos anos a Combinatória passou a figurar como uma importante temática em pesquisas na área da Educação Matemática e esses estudos, de um modo geral, apresentam como resultado que alunos conseguem compreender e resolver problemas combinatórios desde os anos iniciais de escolarização (PESSOA e BORBA, 2009; PESSOA e SANTOS, 2011).

Ainda nesta direção, Rocha (2011) e Sabo (2010) afirmam que os professores exercem papel fundamental no processo de aprendizagem de Combinatória e apontam que este quadro de dificuldade está relacionado, em parte, com a forma como os docentes abordam este conceito em sala de aula, onde é dada a ênfase as fórmulas das operações combinatórias em detrimento aos seus significados deste conceito.

A Base Nacional Curricular Comum - BNCC, propõe que desde os Anos Iniciais do Ensino Fundamental, os estudantes aprendam a lidar com situações problemas de Combinatória. Esse fato corrobora com as ideias de Ribnikov (1991) quando afirma que apesar das formas e das vias do desenvolvimento desse conhecimento construídos por diferentes povos em diferentes épocas, serem muito diversos, é comum para eles que todos os conceitos básicos da Matemática, incluindo-se aqui, os conceitos e abordagens de Combinatória que sejam inicialmente explorados e estudados nos anos iniciais do Ensino Fundamental, seguindo a uma maior complexidade, quando desenvolvidos no Ensino Médio com o uso de situações problemas.

Como se observa, o ensino de Combinatória tem como objetivo levar os estudantes dos Anos Iniciais e Finais, a interação com situações problemas que compreendam seus diferentes significados (produto cartesiano, arranjo, permutação e combinação), sem necessariamente formalizá-lo. Ou seja, através do ensino de Combinatória, espera-se que o estudante desta faixa etária, compreenda a totalidade deste conceito, ideia que servirá de base para a consolidação e ampliação do conhecimento combinatório explicitamente abordado nas aulas de Matemática.

A busca por estratégias e recursos metodológicos para desenvolver a habilidade de contagem é fundamental para alcançar melhores resultados de uma efetiva aprendizagem. É nesse pensar que buscamos refletir como o estudante compreende o significado desse campo conceitual multiplicativo e como o representa a partir da Resolução de Problemas e como esse mesmo estudante, idealiza a construção do conceito e do raciocínio de combinatória, dialogando em Grupos Interativos.



A partir desse ponto de vista, que buscamos experimentar a relação entre uma metodologia – Resolução de Problemas – aplicada em uma atuação educativa de êxito – Grupos Interativos – caracterizando o que chamamos de Intenção Didática para o ensino de Combinatória. De acordo com Chavellard (2013, p.8), a expressão intenção didática é reconhecida como o interesse ou desejo de que os estudantes aprendam “ao passo em que o ensino depende fundamentalmente da existência de alguma intenção para ensinar”, e a partir dessa concepção, refletimos a Resolução de Problemas em Grupos Interativos, como uma intenção didática para o ensino de Combinatória.

A partir desse entendimento, consideramos duas bases de estudos para dar sentido a essa intenção didática para ensinar Combinatória no Ensino Fundamental. A primeira, trata de conhecer e compreender teoricamente a organicidade e dinâmica da atuação educativa de êxito, os Grupos Interativos. A segunda e tão importante base teórica, que estuda e reconhece a Resolução de Problemas como uma metodologia.

Pesquisas e estudos cientificamente comprovados pelo Projeto de Comunidades de Aprendizagem do Centro de Investigação em Teorias e Práticas de Superação de Desigualdades - CREA, da Universidade de Barcelona, reconhece dentro das sete atuações educativas de êxito que estruturam esse projeto, que os Grupos Interativos proporcionam novas formas de aprendizagem para solucionar muitas situações a partir dos problemas propostos.

O Grupo Interativo é uma Atuação Educativa de Êxito que tem como princípio o agrupamento de alunos de uma mesma turma em subgrupos heterogêneos. Cada grupo realiza, dentro de um tempo determinado, uma atividade preparada pelo professor ou professora. A cada período de tempo, que varia de 15 a 20 minutos, os subgrupos trocam de atividades até que todos tenham contato com todas elas. O objetivo dessa ação é que haja, por intermédio de voluntárias ou voluntários, a potencialização da interação entre estudantes, buscando garantir a colaboração e a troca de conhecimentos entre todos (MELLO, BRAGA e GABASSA, 2012, p.126).

Dessa forma, percebe-se como a construção do conhecimento e dos saberes se enriquecem na medida em que os estudantes dialogam, trocam ideias, socializam informações e que apresentam caminhos para se obter uma solução. Com esse olhar, acredita-se que os resultados alcançados poderão ser determinantes para uma formação efetiva desses sujeitos, visando o conhecimento e a capacidade de aprender.

Os Grupos Interativos é uma forma de agrupamento inclusivo na qual todos os estudantes participam do processo de aprendizagem com a ajuda do professor e de outros recursos materiais e humanos, sem que nenhum deles fique para trás. Assim, os Grupos Interativos trazem os melhores resultados no âmbito da aprendizagem e da convivência (MELLO, BRAGA e GABASSA, 2012, p.126).

Os Grupos Interativos são uma atuação educativa de êxito que objetiva, um desenvolvimento mais dinâmico, acelerando a aprendizagem através das interações

desenvolvidas entre estudantes e voluntários e voluntárias da comunidade escolar (familiares, funcionários e ex-estudantes), vislumbrando também os princípios da aprendizagem dialógica.

Flecha e Soler (2013), acrescentam que os Grupos Interativos:

... é uma forma de organizar a atividade em sala de aula, em pequenos grupos heterogêneos, com vários guias adultos e baseada na aprendizagem dialógica. Os membros da família e da comunidade participaram nesses grupos como voluntários, e o papel deles foi promover e encorajar as interações de aprendizagem como apoio entre os alunos (FLECHA; SOLER, 2013, p. 11).

Como observamos, a participação de voluntários nessa atuação educativa de êxito, traz de uma funcionalidade e finalidade devidamente planejada e dialogada pelo professor da turma.

Segundo Braga & Mello (2015):

[...] voluntário/a que realizará o papel de mediador das interações e do desenvolvimento da tarefa proposta, que é preparada pelo professor visando reforçar e exercitar um conceito, habilidade ou competência já trabalhada em sala de aula e que necessita ser praticada para consolidação da aprendizagem (BRAGA & MELLO, 2015, p. 30).


Diante desse cenário, consideramos que essa atuação educativa de êxito planejada para o ensino de Combinatória através da Resolução de Problemas é “um caminho para ensinar Matemática e não apenas para ensinar a resolver problemas” (ONUCHIC e ALLEVATO, 2009, p.8). Entretanto a compreensão acerca do estudo e contribuições da metodologia da Resolução de Problemas propõe é essencial para o ensino não de Combinatória, mas da própria Matemática.

Onuchic e Alevatto (2004), descrevem o porquê da utilização e o para que da metodologia da Resolução de Problemas no ensino da Matemática, quando afirmam:

A maioria (senão todos) dos importantes conceitos e procedimentos matemáticos pode ser melhor ensinada através da Resolução de Problemas. Tarefas e problemas podem e devem ser dados de modo a engajar os alunos no “pensar sobre” e no desenvolvimento de matemática importante que eles precisam aprender (ONUCHIC; ALEVATTO, 2004, p.223).

Consciente disso, refletimos o quanto é importante permitir que os estudantes tenham espaço para discutir e refletir as possíveis soluções atribuídas as situações problemas propostas, pois as reflexões auxiliam na construção do pensamento e, a partir do momento que ela é compreendida, consolida a aprendizagem, visando o pleno desenvolvimento e a exploração do raciocínio combinatório, resignificando assim, a capacidade de aprender de maneira construtiva e colaborativa com as interações do meio.

Allevalo e Onuchic (2014, p.45) descrevem a Resolução de Problemas como uma metodologia de Ensino-Aprendizagem-Avaliação de Matemática, onde objetiva que o ensino,



a aprendizagem e a avaliação ocorram simultaneamente durante o processo de ensino na construção do conhecimento do estudante, tendo a atuação do professor como guia e mediador.

A metodologia da Resolução de Problemas é estruturada em dez etapas, sendo elas aplicáveis e possíveis para auxiliar e perceber em sua organização, habilidades de integração da avaliação durante todo o processo, a possibilidade em aumentar a aprendizagem dos estudantes e o aperfeiçoamento ao longo do processo, do ensino do professor.

A Resolução de Problemas no ensino de Combinatória através dos Grupos Interativos busca contribuir tanto para o ensino como para a aprendizagem dos estudantes. Não se trata de organizar a sala de aula em grupos e assim propor problemas a serem discutidos e por fim apresentar uma solução.


A proposição dessa metodologia no ensino de Combinatória está bem presente em muitas atividades da nossa vida, pois é um tema muito explorado no Ensino Fundamental para construção de conceitos, desenvolvimento cognitivo dos estudantes, estimulando o raciocínio, a capacidade de análise e argumentação, sendo classificada comumente como “a arte de contar”, pois permite a escolha e a contagem dos elementos de um conjunto sem necessariamente ter que listá-los (PESSOA e BORBA, 2009).

Ensinar ou buscar estratégias de aprendizagem no tocante à Combinatória no Ensino Fundamental por meio da Resolução de Problemas em Grupos Interativos é reconhecer da importância e significado dos problemas ou situações problemas escolhidos para promoção da aprendizagem, uma vez que:

[...] os problemas são um meio para pôr o foco nos alunos, em seus processos de pensamento e nos métodos inquisitivos, uma ferramenta para formar sujeitos com capacidade autônoma de resolver problemas, críticos e reflexivos, capazes de se perguntar pelos fatos, suas interpretações e explicações, de ter seus próprios critérios, modificando-os, se for necessário, e de propor soluções (VILA; CALLEJO, 2006, p. 29).

De certo a prática dessa atuação educativa de êxito permite uma observação mais cuidadosa do desempenho e aprendizagem de cada estudante. É nessa perspectiva que as opiniões buscam ser respeitadas e valorizadas pelos estudantes e voluntários, onde todos e todas possam mostrar seus conhecimentos e suas diferentes habilidades, consolidando assim as aprendizagens.

Segundo Charnay (1996), o estudante deve ser capaz não só de repetir ou refazer, mas também de ressignificar em situações novas, de adaptar, de transferir seus conhecimentos para resolver problemas. Pode-se dizer que os Grupos Interativos é um ponto de partida fundamental



para conhecer, desenvolver, aprender e ensinar Matemática e é por essa prática que crianças e adolescentes desenvolvem inúmeras estratégias, que em sua maioria se aplicam a um grande número de situações.

Os argumentos aqui levantados visam refletir as contribuições dos Grupos Interativos no percurso metodológico nas aulas de Matemática, a partir Resolução de Problemas, como uma intenção didática para ensinar Combinatória e automaticamente analisar quem e como aprendem os estudantes, desde o pensar e o interesse em se encontrar com os diferentes significados de Combinatória presentes em cada um dos problemas ou situações propostas.

## ASPECTOS METODOLÓGICOS

O presente artigo, baseia-se em uma pesquisa inicial do Mestrado Profissional<sup>8</sup>, propondo uma abordagem qualitativa sob uma perspectiva de natureza colaborativa, segundo descreve Ibiatina (2016) quando afirma:

O processo de pesquisa é, portanto, organizado a partir do interesse inicial do pesquisador, que possui um projeto de investigação sobre determinados aspectos da prática educativa. Encontrar parceiros que também possuem necessidades de compreender e de transformar a prática é um dos primeiros desafios colaborativos, isto é, encontrar parceiros que tenham os mesmos interesses investigativos do pesquisador, transformando a intenção inicial de pesquisa em objetivo comum de investigação, significa possibilidade para produzir saberes de forma colaborativa (IBIAPINA, 2016, p. 46).


A partir da abordagem metodológica escolhida, propomos a realização da pesquisa a ser desenvolvida com professores de Matemática do Ensino Fundamental – Anos Iniciais e Finais da rede municipal de Pernambuco, através de um momento formativo de 4 horas. A escolha pelo público alvo foi pensada no sentido de contribuir com e para a formação de professores com a metodologia da Resolução de Problemas que pode ser aplicada nas aulas de matemática no tempo e momento que o professor assim desejar.

Huanca (2006) acrescenta que por meio da Resolução de Problemas no ensino de Matemática é capaz de proporcionar:

Uma experiência em profundidade, uma oportunidade de conhecer e delinear as dificuldades, de conhecer as capacidades e limitações do conhecimento matemático que os estudantes possuem. O ensino através da Resolução de Problemas coloca ênfase nos processos de pensamento, nos processos de aprendizagem e trabalha os conteúdos matemáticos, cujo valor não se deve deixar de lado (HUANCA, 2006, p. 38).

---

<sup>8</sup> Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (UEPB) – *Campus Campina Grande* – PB;



Para levantamento inicial dos dados, proporemos uma pesquisa através de formulário *Google Forms* para conhecer as estratégias e desafios para o ensino de Combinatória são apresentadas pelo público alvo desta pesquisa. Paralelo a essa coleta de dados, investigaremos os resultados das Avaliações Externas (PISA e SAEB) que apresentam os avanços e/ou dificuldades de aprendizagem dos estudantes em resolver problemas de Combinatória.

O segundo momento proposto para coleta de dados, seguirá com a realização de um Mini Curso ou Oficina onde buscaremos pôr em prática a intenção didática dessa pesquisa, desenvolver a metodologia da Resolução de Problemas em Grupos Interativos para o ensino de Combinatória no Ensino Fundamental.


Para a realização da Formação dos professores, teremos um planejamento mais estruturado e direcionado para o público alvo e para os voluntários que participarão dos Grupos Interativos. Cabe nesse momento, definir dentro das etapas da metodologia da Resolução de problemas, a lista de problemas que serão propostos a cada Grupo Interativo, o tempo que será direcionado para todo o estudo (Acolhida, Informes Gerais, Trabalho em Grupos, Intervalo, Plenária, Considerações Finais).

Durante a Formação Continuada os voluntários convidados atuarão com a finalidade de mediar as interações e o desenvolvimento da atividade proposta pelo professor (autor desse trabalho) que visa coletar evidências das representações da compreensão do conceito e significado de Combinatória nas suas diferentes abordagens, através das atividades e discussões do público alvo.

Os voluntários além da mediação descrita acima, atentarão junto com o professor para a observação das discussões em cada Grupo Interativo. Tais registros serão analisados qualitativamente para auto descrição e discussão dos resultados encontrados. Para este direcionamento, como também para definir e orientar cada um dos voluntários, proporemos uma reunião anterior a realização da Formação, afim de esclarecer e apresentar a proposta deste trabalho.

As transcrições pensadas para esta pesquisa, serão categorizadas em 2 painéis de resultados, sendo o primeiro relacionado às estratégias de ensino de Combinatória e o segundo, um panorama dos desafios presentes para o ensino de Combinatória. Conforme já mencionado, esta pesquisa é um ponto de partida para analisar as contribuições da metodologia da Resolução de Problemas aplicada em Grupos Interativos como uma intenção didática para ensinar Combinatória no Ensino Fundamental.





Posterior a Formação dos Professores, será aplicado um questionário (Entrevista Semi Estruturada) com cinco perguntas inerentes ao (1) Trabalho Formativo proposto, (2) Formação em Grupos Interativos, (3) Metodologia aplicada, (4) Problemas de Combinatória, (5) Conhecimento de Combinatória “antes” e “depois” da Formação.

O professor, autor desse trabalho, será responsável em planejar e articular o espaço, convite e organização de cada atividade a ser trabalhada na Formação Continuada, atentando as dez etapas da Metodologia da Resolução de Problemas com a dinâmica dos Grupos Interativos, possibilitando um ambiente de aprendizagem bem planejado, promovendo o engajamento e práticas de interação para novos conhecimentos, além de oferecer ao público alvo, uma reflexão sobre sua atuação docente.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este artigo, a partir dos estudos teóricos e por se tratar de uma pesquisa inicial, propõe refletir as contribuições da metodologia da Resolução de Problemas aplicada em Grupos Interativos como uma intenção didática para ensinar Combinatória no Ensino Fundamental. É evidente que este trabalho surge de uma análise crítica e qualitativa quanto às concepções e as compreensões de estudantes quanto ao conceito e significados de Combinatória no Ensino Fundamental.

A partir desta motivação, o presente trabalho traz uma possibilidade de experimentação dessa intenção didática para a construção de um Produto Final do Mestrado Profissional e para o trabalho formativo para Professores da Educação Básica, acrescentando um olhar mais didático e pedagógico para quem ensina e para quem aprende.

É interessante constatar que, os dados coletados e resultados que serão encontrados, a partir da aplicação desse trabalho, analisará qualitativamente a observação das interações entre todos os envolvidos (estudantes, professor e voluntários da comunidade escolar) seguidas de evidências apresentadas através de discussões e representações escritas seja da compreensão do conceito ou do significado de Combinatória em diferentes abordagens propostas através de problemas, seja abertos ou fechados.

Buscando implementar a Resolução de Problemas nos Grupos Interativos no ensino de Combinatória nas duas etapas do Ensino Fundamental, refletimos essa proposta como uma prática inovadora e construtiva para o ensino de Combinatória e oportunidade de aperfeiçoamento da prática docente do professor.

## REFERÊNCIAS

ALLEVATO, N. S. G.; ONUCHIC, L. R. Ensino-Aprendizagem-Avaliação de Matemática: por que Através da Resolução de Problemas? In: ONUCHIC, L. R. et al. (Orgs). **Resolução de problemas: teoria e prática**. Jundiaí: Paco Editorial, 2014.

ALLEVATO, N. S. G.; ONUCHIC, L. R. **Ensinando Matemática na Sala de Aula através da Resolução de Problemas**. Boletim GEPEM, v. 55, p. 133-154, 2009.

BRAGA, F. M.; GABASSA, V. **Comunidades de Aprendizagem: outra escola é possível**. 1ª. ed. São Carlos: EDUFSCar, v. 1, p. 176, 2012.

BRAGA, F. M.; MELLO, R. R. de. **V Encontro de Comunidade Aprendizagem** - Fabiana Marini Braga; Roseli Rodrigues de Mello - 2015. 178f. <http://www.comunidadesdeaprendizagem.ufscar.br/documentos/publicacao-final>. Acessado em 06/03/2022/

CHARNAY, R. **Aprendendo (com) a resolução de problemas**. In: SAIZ, Irma; PARRA, Cecília. Didática da Matemática: reflexões psicopedagógicas. Porto Alegre: ArtMed, 1996, p. 36-47.

FLECHA, R.; SOLER, M. **Transformando dificuldades em possibilidades: o envolvimento de famílias e estudantes ciganos na escola através da aprendizagem dialógica**. Cambridge Revista de Educação, London WIT 3JH, UK., v. Vol. 43, n. 4, p. 451-465, jun. 2018.

HUANCA, R. R. H.; ASSIS, M. A. P. de. **Grupo de Estudos e Resolução de Problemas: potencialidades para formação continuada de professores de Matemática**. Revista Temporis [Ação] (Periódico acadêmico de História, Letras e Educação da Universidade Estadual de Goiás). Cidade de Goiás; Anápolis. V. 18, N. 02, p. 71-98 de 250, jul./dez., 2018. Disponível em: < <http://www.revista.ueg.br/index.php/temporisacao/issue/archive>>. Acesso em 02/11/2021.


IBIAPINA, I. M. L. de M.; BANDEIRA, H. M. M.; ARAUJO, F. A. M. (Orgs.). **Pesquisa Colaborativa: multirreferenciais e práticas convergentes**. EDUFPI – Conselho Editorial. 1ª ed., 2016.

ONUCHIC, L. R.; ALLEVATO, N. S. G. Novas reflexões sobre o ensino-aprendizagem de Matemática através da resolução de problemas. In: BICUDO, M. A. V.; BORBA, M. C. (Org.) **Educação Matemática: pesquisa em movimento**. São Paulo: Cortez, 2004, p. 212- 231.

PESSOA, C; BORBA, R. **Quem dança com quem: o desenvolvimento do raciocínio combinatório de crianças de 1ª a 4ª série**. ZETETIKÉ – Cempem – FE – Unicamp, v. 17, jan-jun. 2009.

RIBNIKOV, K. **Historia de las Matemáticas**, MIR, 1991.

ROCHA, C. A. **Formação docente e o ensino de problemas combinatórios: Diversos olhares, diferentes conhecimentos**. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática e Tecnologia) Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.



SABO, R. D. **Saberes docentes: análise combinatória no Ensino Médio**. 2010. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Educação Matemática) Pontifícia. Universidade Católica de São Paulo.

VILA, A.; CALLEJO, M. L. **Matemática para aprender a pensar: O papel das crenças na resolução de problemas**. Porto Alegre: Artmed, p. 212, 2006.

# CAPÍTULO 22

## DETERMINAÇÃO VOLTAMÉTRICA E AMPEROMÉTRICA DE SERTRALINA UTILIZANDO UM ELETRODO DE DIAMANTE DOPADO COM BORO

Vinícius Avanzi Barbosa Mascareli

Roberta Antigo Medeiros

César Ricardo Teixeira Tarley

Juliana Costa Rolim Galvão

Mayara da Silva Araújo

### RESUMO

A Sertralina (SER) é um fármaco da classe dos antidepressivos muito utilizada no tratamento e controle de transtornos mentais. Neste trabalho foram desenvolvidos dois métodos eletroanalíticos, utilizando a voltametria de onda quadrada (VOQ), a amperometria de múltiplos pulsos acoplada a um sistema de análise por injeção em fluxo (AMP-FIA) e o eletrodo de diamante dopado com boro (EDDB) como eletrodo de trabalho, para determinação da SER em amostras de medicamentos. Nos estudos eletroquímica realizados, utilizando a técnica de voltametria cíclica, não observou-se pico de oxidação e/ou redução para a SER, porém ao realizar a varredura em potências acima de 1,8 V surgiu um pico de redução bem definido próximo a 0,05 V, provavelmente, proveniente da redução do produto da oxidação da SER, a qual se oxida em potências acima de 1,8 V. Não observou-se um pico de corrente definido nessa região de potencial, devido ao desprendimento de oxigênio na superfície do EDDB. Sendo assim, a determinação da SER tornou-se possível através da redução do seu produto de oxidação aplicando-se um potencial de 1,9 V durante 30 s seguido da varredura de potencial por VOQ no sentido negativo, a fim de obter o pico de redução em 0,05 V. A curva analítica obtida pelo<sup>9</sup> método eletroanalítico, utilizando VOQ, apresentou boa linearidade na faixa de concentração de 0,1 a 22,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , com limite de detecção de 0,10  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . Utilizando a AMP-FIA, estudou-se os pulsos de potencial a serem aplicados e os seus respectivos tempos de aplicação que foram de 1,9 V / 100 ms para a oxidação da SER e 0,1 V / 50 ms para a redução do produto de oxidação da SER. A curva analítica apresentou boa linearidade na faixa de concentração de 0,5 a 10,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , com limite de detecção de 0,18  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . Ambos os métodos foram utilizados na determinação da SER em amostras comerciais de medicamentos contendo a SER e realizou-se uma comparação com o método espectrofotométrico, os quais apresentaram erros relativos abaixo de 10%. Os procedimentos desenvolvidos mostraram-se simples, rápidos, de fácil execução e com alta sensibilidade comparados a outros métodos eletroanalíticos reportados na literatura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sertralina, BDDE, Voltametria de onda quadrada, Amperometria de múltiplos pulsos, Análise por injeção em fluxo.

---

9Programa Fomentador: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação Araucária.

## INTRODUÇÃO

Com o avanço científico, várias pesquisas são realizadas diariamente com diferentes propósitos. A área da eletroquímica apresenta-se como uma boa escolha dentre diversos métodos para produzir pesquisa no ramo analítico, com um conjunto de ferramentas de análise quantitativa e qualitativa denominadas como técnicas eletroanalíticas. Essas técnicas, geralmente, apresentam baixo custo quando comparados a outras como, por exemplo, a utilização de técnicas cromatográficas, além disso, também é possível alcançar baixos limites de detecção.

A eletroanálise engloba como principal característica a interação e propriedades de uma substância em relação a aplicação de um trabalho elétrico, já que cada elemento ou substância por si próprios carregam intrinsecamente suas características elétricas, inclusive para elementos com diferentes estados de oxidação. (SKOOG, 2002; TICIANELLI, 2013)

O uso de um método eletroanalítico em substituição a outros métodos analíticos pode ser benéfico em termos de custos, tanto em instrumentação quanto a reagentes, pois, geralmente, requerem baixo consumo e equipamentos mais baratos. Tais técnicas estão sendo cada vez mais utilizadas no desenvolvimento de métodos analíticos para a quantificação de inúmeras classes de substância, dentre essas, destaca-se a dos fármacos devido à grande diversidade de compostos farmacêuticos e o seu uso desenfreado para tratar diferentes tipos de doenças e transtornos. (LIMA, 2013)

## SERTRALINA

Sabe-se que com o passar dos anos, o índice de crescimento do número de pessoas diagnosticadas com doenças psicológicas, psiquiátricas e neurais é cada vez maior. Algumas das mais populares são a depressão e ansiedade. (BOSCH, 2008)

Estas doenças ocorrem por consequência de alterações no sistema neuroquímico em três neurotransmissores monoaminas, sendo eles a dopamina, norepinefrina e a serotonina. (BOSCH, 2008)

A serotonina é classificada como o neurotransmissor (5-HT), e é responsável pela comunicação ao cérebro sobre a saciedade e bem estar, permitindo que células nervosas interajam entre si. Conhecida como fonte da felicidade, variações nos níveis desse neurotransmissor levam a transtornos mentais como doenças obsessivas compulsivas, depressão, esquizofrenia, bulimia, entre outros problemas psicológicos. (BOSCH, 2008; IWUOHA, 2007)

O controle de doenças relacionados à serotonina é feito por fármacos classificados como antidepressivos que são também Inibidores Seletivos de Recaptação de Serotonina (IsSRS), alguns exemplos desses fármacos são: Fluoxetina, Paroxetina, Citalopram, Fluvoxamina e Sertralina. (BOSCH, 2008; FERRARINI, 2010)

A Sertralina (SER) (cis(1S,4S)-N-metil-4-(3,4-diclorofenil)-1,2,3,4-tetrahidro-naftalenoaminahidrocloreto), está entre os mais utilizados por bloquear a recaptação de Serotonina em plaquetas sanguíneas humanas sem causar sedação e/ou interferências psicomotoras no paciente (BOSCH, 2008; HIRANO, 2005).


Quimicamente, a estrutura da SER é constituída de dois centros assimétricos, resultantes de quatro estereoisômeros da molécula, entretanto, apenas um isômero apresenta atividade farmacêutica. (CHENG, 2012)

Diversas técnicas de análise são utilizadas para a quantificação da SER, entre elas, as mais utilizadas são a espectrometria de absorção molecular, espectrometria de massas e a cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). (AL-NIMRY e JABER, 2016; CHEN et al., 2017; NIEMI et al., 2013; REYES-REYES et al., 2014; WEISSKOPF et al., 2017; WRÓBLEWSKI et al., 2017)

Na literatura também foram encontrados alguns trabalhos utilizando técnicas eletroanalíticas para a determinação da SER. Vela et al. (2001) descreveram o comportamento eletroquímico da SER utilizando um eletrodo de mercúrio de gota pendente (HMDE) e a voltametria de onda quadrada (VOQ) com eletrodeposição em meio alcalino, -1,0 V por 90 s. A SER apresentou um pico de redução em, aproximadamente, -1,8 V, o método analítico desenvolvido foi utilizado para a quantificação de SER em amostras de medicamentos. Nouws et al. (2005) também desenvolveram um método para a quantificação de SER em amostras de medicamentos utilizando um sistema de análise por injeção em fluxo, a voltametria de onda quadrada de redissolução catódica e um HMDE.

Outro método eletroanalítico proposto para a determinação da SER em medicamentos foi desenvolvido por Dermis e Cay (2010). Os autores utilizaram um eletrodo de carbono vítreo (GC) em solução de tampão Britton-Robinson/metanol (1:1(v/v)) (eletrólito suporte) e a voltametria de onda quadrada. Cheng et al. (2012) também utilizaram um eletrodo de GC modificado com rutina para a determinação SER em amostras de medicamentos.

Babaei et al. (2019), desenvolveram um método eletroanalítico para determinação simultânea de SER e serotonina na presença de ácido úrico em amostras soro sanguíneo e urina



humana, para isso, utilizaram um eletrodo de GC modificado com um compósito de  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{MCM-48-SO}_3\text{H}$  e nanotubos de carbono de paredes múltiplas e a técnica voltamétrica de pulso diferencial.

Milani-Hosseini, MR et al. (2020), desenvolveram um sensor eletroquímico para determinação da SER, utilizando um eletrodo de Pt modificado com nanopartículas de grafeno e polímero de impressão molecular (MIP). Para avaliar o desempenho do sensor, utilizaram a voltametria cíclica e a voltametria de pulso diferencial.

No trabalho de Tajik, S et al. (2020), foi descrito o uso de um eletrodo de carbono serigrafado modificado com  $\text{La}^{3+}/\text{ZnO}$ . Este sensor apresentou atividade catalítica satisfatória para determinação de sertralina pelos métodos de voltametria cíclica e voltametria de pulso diferencial. Lovic, J et al. (2021) utilizaram um eletrodo de ouro e as técnicas de voltametria cíclica e voltametria de pulso diferencial para quantificar a SER em formulação farmacêutica e soro humano enriquecido com padrão de sertralina.

Muitos desses métodos eletroanalíticos desenvolvidos ou utilizaram os eletrodos de HMDE, que estão sendo cada vez menos utilizados e aceitos, devido à toxicidade do mercúrio, ou utilizaram eletrodos modificados que podem trazer certa complexidade para o procedimento experimental. Portanto, o desenvolvimento de métodos eletroanalíticos que sejam mais simples e mais rápidos pode ser de grande interesse, a fim de substituir métodos analíticos mais complexos e/ou de maior custo relativo.

## **ELETRODO DE DIAMANTE DOPADO COM BORO (EDDB)**

Os eletrodos de carbono têm sido muito utilizado dentro da eletroquímica nas últimas décadas, devido as suas propriedades únicas, as diferentes formas de carbono e, em muitos casos a sua grande disponibilidade e o baixo custo. No início dos anos 90, pesquisadores começaram a investigar as propriedades eletroquímicas de uma nova forma de carbono: o diamante dopado com boro. (LORENCAO et al. 2020)

O boro é um dos dopantes mais utilizados para a dopagem do diamante, pois além de possuir certas similaridades físicas com o carbono, uma vez pertencentes ao mesmo período da tabela periódica, o elemento boro possui uma pequena energia de ativação o que contribui para um alto nível de dopagem, diferente de outros elementos do mesmo período como, por exemplo, o nitrogênio, que possui uma energia de ativação maior. (MACPHERSON, 2015)

A inserção da impureza na estrutura do filme de diamante geralmente ocorre ainda durante a formação do filme, através de uma deposição a partir de uma mistura gasosa feita por compostos como o diborano ou trimetilborano. (KRAFT, 2007; LUONG, 2009)

A formação do filme de diamante dopado com boro é basicamente feita a partir de duas técnicas, a deposição química pela fase de vapor (Chemical Vapor Deposition–CVD) e o crescimento por alta pressão e temperatura (High-Pressure/High-Temperature-HPHT). A primeira técnica é considerada mais viável devido a fatores simples como custo e versatilidade. Ela se baseia na deposição do filme de diamante em diversos tipos de substratos, submetida a condições termodinâmicas especiais, a partir de uma mistura gasosa (geralmente metano diluído em hidrogênio e a fonte de boro) que é introduzida em um reator e ativada no processo. (BARROS, 2005; MEDEIROS, 2008)

Os EDDB possuem um número importante de propriedades eletroquímicas distinguíveis de outros eletrodos comumente usados, tais como carbono vítreo, platina e pasta de carbono. Estas propriedades são: estabilidade a corrosão em meios muito agressivos; baixa e estável corrente de fundo; excelente estabilidade morfológica e microestrutural a altas temperaturas (por exemplo, 180°C); boa resposta a alguns analitos em soluções aquosas e não-aquosas com pré-tratamento convencional; fraca adsorção de moléculas polares, o que melhora a resistência do eletrodo à desativação ou envenenamento; estabilidade de resposta em longo prazo e, finalmente, uma larga janela de potencial em meio aquoso e não-aquoso. Nesse eletrodo, a reação de desprendimento de hidrogênio começa em  $-1,5$  V e a de desprendimento de oxigênio em  $2,5$  V (vs. Ag/AgCl (KCl  $3,0$  mol L<sup>-1</sup>), em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  $0,5$  mol L<sup>-1</sup>) (HUPERT et al., 2003; MEDEIROS, 2008).

Pouquíssimos materiais mostram tanta versatilidade para fins eletroquímicos quanto o EDDB. Ele pode ser utilizado na eletroanálise com aumento de estabilidade, precisão e pode proporcionar baixos limites de detecção, além de possibilitar a análise de uma ampla variedade de compostos orgânicos que sejam eletroativos, devido a sua larga janela de potencial.

Contudo neste trabalho foram utilizados o EDDB e as técnicas eletroquímicas de VOQ e AMP para o desenvolvimento de dois métodos analíticos, simples e rápidos para a quantificação do anticonvulsivante SER em amostras de medicamentos.



## METODOLOGIA

### Reagentes e soluções


Para a realização deste trabalho foram utilizados reagentes de pureza analítica (PA), todas as soluções foram preparadas em água ultrapura em um sistema Milli-Q (Millipore®). O padrão de SER (Fagron®, 99,4%), soluções de ácido sulfúrico (Panreac, 96,0%), etanol e metanol (Sigma-Aldrich, 99,8%). As amostras comerciais de medicamento que contém SER de duas marcas e dosagens (56 e 112 mg/comprimido) foram adquiridas em uma drogaria no município de Paraguaçu Paulista, estado de São Paulo, Brasil.

Para os estudos iniciais de eletrólito suporte foram utilizadas soluções de tampão Britton-Robinson (BR) 0,04 mol L<sup>-1</sup> pH 2 e soluções de ácido sulfúrico de concentrações 0,01; 0,05; 0,1; 0,3 e 0,5 mol L<sup>-1</sup>. A solução de tampão BR (0,04 mol L<sup>-1</sup>) foi preparada em um balão volumétrico de 500 mL a partir da dissolução de 1,236 g de ácido bórico, 1,14 mL de ácido fosfórico e 1,143 mL de ácido acético. O volume do balão foi completado até o menisco com água ultrapura.

Soluções estoque de SER foram preparadas em concentração de 0,1 mol L<sup>-1</sup>. Quando utilizadas concentrações menores, realizou-se diluições da solução estoque no eletrólito suporte, ácido sulfúrico 0,01 mol L<sup>-1</sup>, 25% etanol (v/v).

O preparo da amostra de 112 mg/comprimido foi iniciado pesando-se a massa de 10 comprimidos individualmente para obter-se um valor médio, os mesmos foram macerados e a partir dessa amostra homogênea utilizou-se uma massa de 0,1138 g para preparar uma solução de concentração 0,1 mol L<sup>-1</sup> em etanol. Essa solução foi diluída para uma concentração de 0,001 mol L<sup>-1</sup> para ser utilizada nas medidas de adição de padrão. Para a amostra contendo 56 mg/comprimido, também foi obtida a massa média de 10 unidades que foi submetida a maceração e da amostra homogênea utilizou-se uma massa de 0,0967 g para o preparo de uma solução 0,1 mol L<sup>-1</sup> em etanol que também foi diluída para a concentração de 0,001 mol L<sup>-1</sup> utilizando-a no estudo da adição de padrão.

Para o método comparativo realizado para avaliar o desempenho dos métodos propostos no trabalho, foi seguido procedimento descrito por Erk (2003), no qual realizou a construção de uma curva analítica a partir de um método espectrofotométrico, o processo contou com o preparo de diferentes concentrações de solução padrão de SER, a solução estoque preparada em metanol e suas diluições realizadas em tampão fosfato pH 4,5 com metanol (Sigma-Aldrich, 99,8%) (20:80 (v/v)). As soluções de medicamentos foram obtidas a partir da dissolução dos



comprimidos macerados. As diluições utilizadas foram realizadas em tampão fosfato pH 4,5 com metanol (20:80 v/v). As soluções foram filtradas em filtro de membrana previamente as medidas no espectrofotômetro que teve seu comprimento de onda fixado em 274 nm.

## Instrumentação

As pesagens foram realizadas através de uma balança analítica da marca MARTE® modelo AY220 com precisão de  $\pm 0,1$  mg. Para as medidas voltamétricas foi utilizado um Potenciostato PalmSens modelo EmStat 3 interfaciado por um computador e um programa computacional PSTrace 4.8. Para as medidas amperométricas utilizou-se um potenciostato  $\mu$ AUTOLABIII, interfaciado pelo programa computacional GPES.

Todas as medidas voltamétricas foram realizadas em uma célula de vidro de compartimento único de capacidade de 50 mL com uma tampa de Teflon®, a qual possui orifícios para posicionar os eletrodos de trabalho, EDDB, referência, Ag/AgCl ( $\text{KCl } 3,0 \text{ mol L}^{-1}$ ), e auxiliar, fio de platina. As medidas amperométricas foram realizadas utilizando uma célula eletroquímica com configuração wall Jet / camada delgada.

O eletrodo de trabalho utilizado em ambos os métodos foi um eletrodo de DDB com área de  $0,30 \text{ cm}^2$ , fabricado pelo *Centre Suisse de Electronique et de Microtechnique SA* (CSEM), em Neuchâtêl, Suíça, com teor de boro de 8000 ppm.

O sistema FIA, acoplado a técnica amperométrica foi constituído de uma linha única que continha uma bomba peristáltica, um injetor, detector eletroquímico e tubos de polietileno com diâmetro interno de 0,8 mm.

O sistema propulsor foi uma bomba peristáltica da marca Ismatec. As soluções e amostras utilizadas foram introduzidas no sistema FIA através do injetor manual comutador feito em acrílico. Os tubos de polietileno foram utilizados para realizar as conduções das soluções e a alça de amostragem. Os tubos de propulsão foram de Tygon®. Um esquema do sistema FIA acoplado a célula eletroquímica é mostrado na Figura 1.

Previamente a cada dia de medida foi realizado um pré-tratamento químico na superfície EDDB. Este pré-tratamento constou com limpeza da superfície do eletrodo com ácido sulfúrico concentrado, que é um oxidante forte. Assim, eram depositadas algumas gotas do ácido sobre o EDDB, o qual ficava em repouso por 5 minutos, após isso, era lavado com água ultrapura e seco.

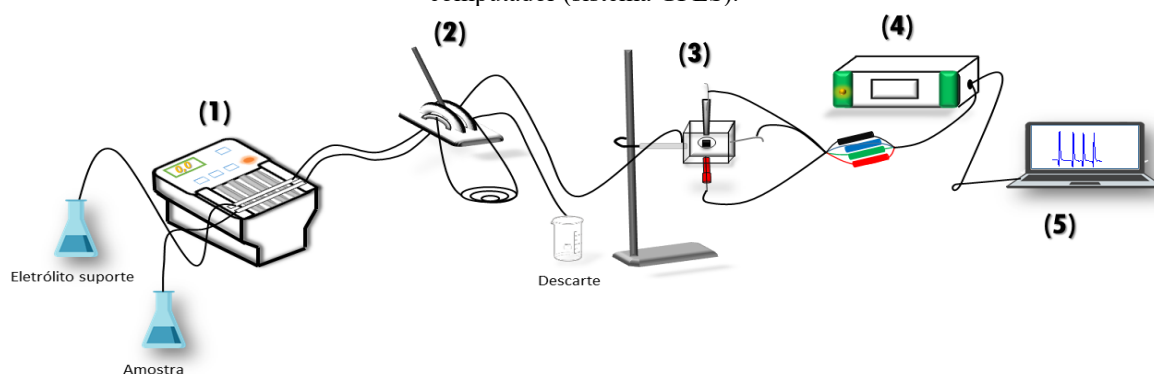
A construção da curva analítica para o método voltamétrico foi realizada a partir de

adições de alíquotas de volume previamente calculadas de uma solução estoque do padrão de SER diretamente na célula eletroquímica contendo eletrólito suporte. Para o método AMP-FIA, foram preparadas soluções em balões de 10 mL para cada concentração a partir da diluição da solução estoque, essas soluções eram injetadas através do sistema FIA em triplicata. Para ambas as curvas analíticas foram calculados seus Limites de Detecção (LD) utilizando a equação  $LD = 3s/b$ , sendo  $s$ , o desvio padrão das medidas de 10 brancos e  $b$ , o coeficiente angular da curva analítica.

A fim de avaliar a precisão dos métodos eletroanalíticos desenvolvidos estudos de repetibilidade intra e entre-dias foram realizados. Os estudos entre-dias foram realizados em 5 dias (ou 3 dias) diferentes. Para os estudos de repetibilidade intra-dia, realizou-se 10 medidas consecutivas. Em ambos os estudos foram utilizadas soluções padrão de SER em duas concentrações diferentes  $0,70$  e  $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ .

As medidas espectrofotométricas foram realizadas em um espectrofotômetro da marca Hitachi, modelo U-3000, o comprimento de onda foi fixado em  $274 \text{ nm}$ .

**Figura 1:** Esquema do sistema FIA em linha única acoplada à célula eletroquímica. (1) bomba peristáltica; (2) injetor de amostra; (3) célula eletroquímica wall-jet / camada delgada; (4) potenciostato/galvanostato e (5) computador (sistema GPES).



Fonte: SANCHES, 2019.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Comportamento eletroquímico da ser sobre o EDDB

Utilizando a VC, foram realizados experimentos com o EDDB a fim de avaliar os processos de oxidação e/ou redução para a SER em solução  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  (25% etanol (v/v)). Em uma varredura inicial realizada em toda a faixa de potencial do EDDB não foi observado picos de oxidação e/ou redução para o fármaco, mas foi observado que após se realizar a varredura em potências até  $2,0 \text{ V}$  ao inverter o sentido da varredura, para o sentido negativo de potencial, surgiu um pico de redução próximo a  $0,15 \text{ V}$ , indicando que

possivelmente, ocorre a oxidação da SER em potenciais próximo a 2,0 V e que o produto desta oxidação se reduz próximo a 0,15 V.

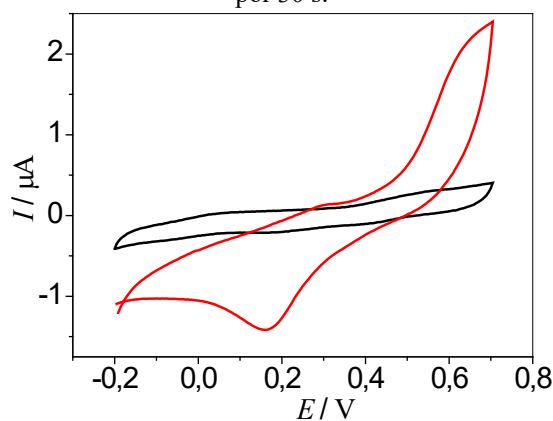
Para avaliar esse comportamento optou-se por trabalhar com a aplicação de um potencial constante por um determinado tempo para provocar a oxidação da molécula e após isso realizar a varredura no sentido negativo de potencial para observar o processo de redução do produto da oxidação da SER (OXI-SER). Na Figura 2 são mostrados os voltamogramas obtidos ao se realizar a varredura sem aplicar o potencial (linha preta) e aplicando-se previamente o potencial de 1,9 V por 30 s (linha vermelha).

Os resultados obtidos indicaram que seria possível desenvolver um método eletroanalítico para quantificação da SER por meio do monitoramento do pico de corrente de redução de seu produto de oxidação, considerando que ao se realizar a varredura por VC em potencial entre 1,8 e 2,4 V não foi possível observar um pico definido para a oxidação da mesma, provavelmente devido ao processo de desprendimento de oxigênio na superfície do EDDB em potenciais acima de 2,0 V, provocando um aumento significativo na corrente e desprendimento de bolhas de oxigênio na superfície do eletrodo.

Também foram realizados estudos com a SER em dois tipos diferentes de eletrólito suporte, tampão BR 0,04 mol L<sup>-1</sup> (pH = 2,0) e solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>. De acordo com os resultados obtidos o melhor perfil voltamétrico, em termos de intensidade de corrente de pico e definição de pico, foi obtido em solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Em seguida, investigou-se o efeito do potencial hidrogeniônico do meio na resposta voltamétrica obtida para a SER, as concentrações de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> testadas foram de 0,01; 0,05; 0,1; 0,3 e 0,5 mol L<sup>-1</sup>. Sendo que o melhor comportamento do perfil voltamétrico foi atribuído para a solução menos concentrada: 0,01 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

A fim de avaliar se o transporte de massa da reação de redução da OXI-SER é controlado por difusão ou adsorção das espécies na superfície eletródica realizou-se um estudo por VC em diferentes velocidades de varredura (voltamogramas não mostrados). Observou-se que as correntes de pico obtidas não variam linearmente com a raiz quadrada da velocidade de varredura, indicando que o transporte de massa da SER é controlado preferencialmente por adsorção das espécies à superfície do eletrodo de DDB, diferente da relação linear que indicaria um processo redigido preferencialmente por difusão. (BARD et al, 2001)

**Figura 2:** Voltamogramas cíclicos obtidos com o EDDB em solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  (25% etanol (v/v) contendo SER  $0,10 \text{ mmol L}^{-1}$  sem (linha preta) e com (linha vermelha) aplicação prévia de potencial de  $1,9 \text{ V}$  por  $30 \text{ s}$ .



Fonte: Autoria própria, 2022.

### Condições analíticas para a determinação da SER utilizando a voltametria de onda quadrada

Para se obter a melhor resposta voltamétrica para o processo de redução da OXI-SER, principalmente, maior intensidade de corrente de pico, melhor definição de pico, e estabilidade da resposta voltamétrica, estudou-se qual seria o melhor potencial a ser aplicado e o tempo de aplicação deste potencial a ser realizado para a oxidação da SER previamente à varredura de potencial para a redução da OXI-SER.

Na Figura 3 (A) são apresentados os voltamogramas de onda quadrada obtidos aplicando-se potenciais entre  $1,0$  e  $2,0 \text{ V}$  previamente a varredura, mantendo-se o tempo de aplicação em  $30 \text{ s}$ . Observou-se que ao se aplicar os potenciais de  $1,0$  e  $1,3 \text{ V}$  as intensidades das correntes de pico de redução da OXI-SER são muito baixas e aumentam ao se aplicar potenciais maiores, se tornando praticamente estáveis e com boa definição de pico para  $1,9$  e  $2,0 \text{ V}$ . Diante destes resultados optou-se por trabalhar nas próximas medidas voltamétrica com a aplicação do potencial de  $1,9 \text{ V}$  a fim de oxidar a SER previamente a varredura para a redução da OXI-SER.

Na Figura 3 (B) são mostrados os voltamogramas de onda quadrada obtidos no estudo do efeito do tempo de aplicação do potencial de  $1,9 \text{ V}$ . Observou-se que o tempo de aplicação do potencial de  $30 \text{ s}$  foi o que apresentou maior intensidade de corrente de pico e que em tempos maiores houve uma diminuição significativa nessas intensidades.

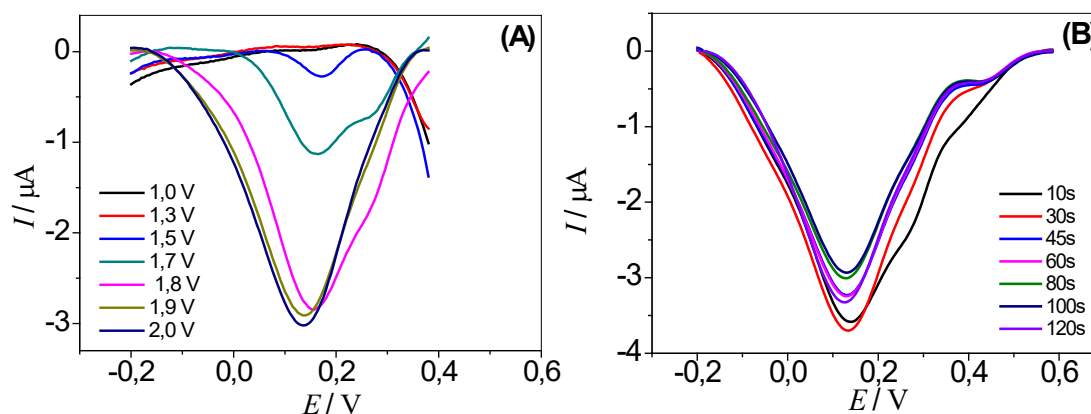
Sendo assim, optou-se por utilizar um tempo de aplicação do potencial de  $30 \text{ s}$ . Além disso, como este pré-tratamento será feito previamente a cada medida voltamétrica,

tempos de aplicação do potencial muito longos implicariam em uma baixa frequência analítica para o método desenvolvido.

Em seguida, foi realizada a otimização dos parâmetros da VOQ, que podem influenciar na resposta voltamétrica. Os parâmetros estudados foram: frequência de aplicação dos pulsos de potenciais ( $f$ ), amplitude do pulso de potencial ( $a$ ) e incremento de varredura ( $\Delta E_s$ ). Os que forneceram melhores respostas voltamétricas foram:  $f = 30 \text{ s}^{-1}$ ,  $a = 30 \text{ mV}$  e  $\Delta E_s = 7 \text{ mV}$ .

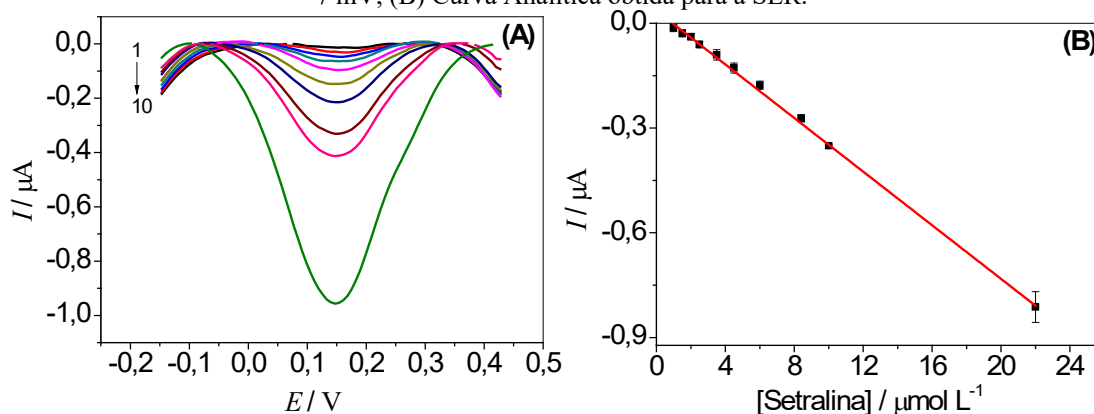
Após determinar as melhores condições experimentais, foram realizadas medidas adicionando-se pequenas alíquotas da solução padrão de SER na célula para que ocorresse o aumento da concentração e junto a isso, o aumento das intensidades de corrente de pico, a fim de construir a curva analítica. Na Figura 4 (A) e (B) são mostrados os voltamogramas de onda quadrada obtidos após as adições sucessivas de SER e a sua correspondente curva analítica. Todas as medidas foram realizadas em triplicata e a curva analítica está apresentada com as respectivas barras de erro para cada valor. Ademais, previamente a cada medida foi aplicado o potencial de 1,9 V por 30 s para a oxidação da SER sendo que o pico de redução dos voltamogramas apresentados na Figura 4 (A) é devido ao processo de redução do produto da oxidação da SER.

**Figura 3:** Voltamogramas de onda quadrada obtidos com o EDDDB em solução de SER  $0,10 \text{ mmol L}^{-1}$ ; (A) aplicando diferentes valores de potenciais para a oxidação da SER previamente a varredura para a redução da OXI-SER; (B) em diferentes tempos de aplicação deste potencial. Eletrólito suporte:  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  (25% etanol (v/v));  $f = 30 \text{ Hz}$ ,  $a = 50 \text{ mV}$  e  $\Delta E_s = 5 \text{ mV}$ .



Fonte: A autoria própria, 2022.

**Figura 4:** (A) Voltamogramas de onda quadrada obtidos com EDDB após a adição de SER em diferentes concentrações: (1 - 10): 0,1; 1,5; 2,0; 2,5; 3,5; 4,5; 6,0; 8,4; 10,0; e 22,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . Potencial aplicado: 1,9 V 30 s, previamente a varredura. Eletrólito suporte:  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,01  $\text{mol L}^{-1}$  (25% etanol (v/v));  $f = 30$  Hz,  $a = 30$  mV,  $\Delta E_s = 7$  mV, (B) Curva Analítica obtida para a SER.



Fonte: Autoria própria, 2022.


Os valores obtidos para as correntes de pico catódicas geraram uma relação linear, representada pela equação:  $(I_p / \mu\text{A}) = 0,036 + 3,84 \times 10^4 [\text{SER}(\mu\text{mol L}^{-1})]$ , com um coeficiente de correlação de 0,997 e um limite de detecção de  $0,10 \mu\text{mol L}^{-1}$ .

Após obter a curva analítica, fez-se o estudo de repetibilidade intra e entre dias. Os desvios padrão relativos foram menores que 9,6 %, indicando uma precisão satisfatória para o método proposto.

### Condições analíticas para a determinação indireta da SER utilizando amperometria de múltiplos pulsos acoplada ao sistema FIA

A amperometria de múltiplos pulsos permite aplicar diferentes pulsos de potenciais no mesmo eletrodo de trabalho em curtos intervalos de tempo, sendo assim, foi possível aplicar o potencial de 1,9 V para a oxidação da SER e monitorar a redução da OXI-SER através da aplicação de outro pulso de potencial o qual foi estudado a fim de se obter maiores intensidade de corrente para o amperograma. A escolha de 1,9 V para o pulso de potencial de oxidação da SER foi devido a estudos já realizados no método desenvolvido utilizando a VOQ.

Inicialmente, utilizou-se a MPA-FIA para a construção do voltamograma hidrodinâmico para a redução da OXI-SER. Como já apresentado anteriormente, o potenciais de redução da OXI-SER está em torno de 0,15 V. Para a construção do voltamograma hidrodinâmico, os potenciais foram variados em torno deste potencial, lembrando que, no mesmo eletrodo foi aplicado sequencialmente o potencial de 1,9 V no tempo de 100 ms. As correntes registradas foram plotadas em um gráfico em função dos potenciais de redução aplicados.



De acordo com os resultados obtidos observou-se que ao se aplicar os pulsos de potencial de 0,4 e 0,5 V as intensidades de corrente dos amperogramas foram baixas quando comparadas aos pulsos de potencial menores, sendo que entre 0,2 e 0,05 V observa-se uma tendência de estabilização no sinal de corrente. Portanto, o pulso de potencial selecionado para a redução da OXI-SER foi de 0,1 V.

Além disso, foi realizado o estudo do tempo de aplicação do pulso de potencial, os valores variaram de 50 a 300 ms para o potencial de 0,1 V mantendo o tempo de aplicação do potencial de 1,9 V fixo (150 ms). Para o potencial de oxidação variou-se os mesmos valores de tempo de aplicação e fixou-se o tempo de aplicação do potencial de redução de 0,1 V (100 ms), o melhor resultado para o potencial de oxidação (1,9 V) o tempo de 100 ms e para o potencial de redução (0,1 V) 50 ms sendo que os valores escolhidos demonstraram maior intensidade de pico de corrente e melhor resolução do amperograma.

Contudo, a aplicação dos pulsos de potencial e, seus respectivos tempos de aplicação, para a oxidação da SER e redução da OXI-SER pela AMP-FIA foi otimizada e o esquema representativo para a aplicação destes pulsos de potencial no EDDB está apresentada na Figura 8, sendo que esses pulsos de potencial são aplicados sequencialmente durante um tempo pré-estabelecido para a obtenção do amperograma.

Cabe enfatizar que para a aplicação da técnica AMP empregando-se outros eletrodos de trabalho, há necessidade de se aplicar um pulso de potencial adicional para promover a limpeza e regeneração da superfície do eletrodo de trabalho, devido à adsorção de produtos e/ou reagentes. No entanto, como no eletrodo de DDB, a adsorção de compostos orgânicos e/ou inorgânicos é muito baixa, essa etapa de limpeza da superfície do eletrodo não foi necessária, diminuindo assim a complexidade e aumentando a frequência analítica do procedimento desenvolvido.

Após a escolha dos pulsos de potencial a serem aplicados, realizou-se a otimização dos parâmetros experimentais do sistema FIA, como, volume da alça de amostragem e vazão da bomba peristáltica.

A variação do volume da alça está diretamente ligada à resposta do sinal analítico de corrente, conforme ocorre o aumento no volume de amostra injetada, ocorre também o aumento do sinal até que atinge um valor constante. Para o volume da alça de amostragem o valor selecionado foi de 350  $\mu\text{L}$  e para a vazão da solução carregadora foi de 2,6  $\text{mL min}^{-1}$ , os quais observou-se uma tendência a estabilização do sinal de corrente.



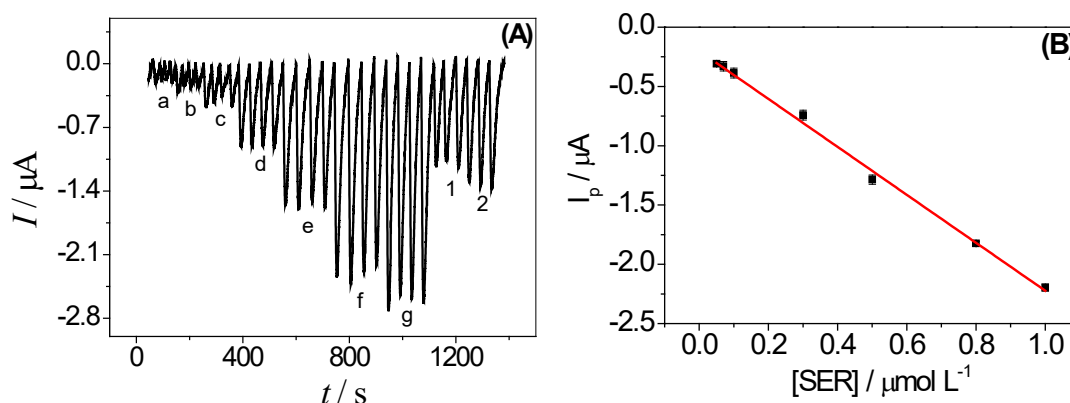
Quando se altera o valor da vazão da bomba peristáltica, ocorre também uma variação no sinal analítico de corrente, este fato ocorre devido a velocidade com que a espécie analisada está chegando à superfície do eletrodo e a velocidade na qual é removida, o sinal é aumentado até certo ponto com o aumento da vazão, até que atinja um valor constante.

Após a otimização dos parâmetros experimentais da AMP-FIA, foi feita a construção da curva analítica para a determinação da SER. Para a curva analítica foram utilizadas sete soluções de concentrações diferentes que variaram entre  $5,0 \times 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$  e  $1,0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ .

Na Figura 5 (A) e (B) são mostrados o amperograma e a curva analítica obtidos, respectivamente. Cada concentração da curva analítica foi injetada em quadruplicata e para análise dos dados foram utilizadas a suas médias. A curva analítica está apresentada com as respectivas barras de erro para cada valor. No amperograma cada pico referente a injeção de diferentes concentrações foi representado por uma letra que variou de “a” à “g” e os picos 1 e 2 foram utilizados para representar a injeção das amostras comerciais de medicamentos contendo SER.

Os valores obtidos para as correntes de pico catódicas geraram uma relação linear, representada pela equação:  $(I_p / \mu\text{A}) = -2,00 \times 10^{-7} 0,202 [\text{SER}(\mu\text{mol L}^{-1})]$ , com um coeficiente de correlação de 0,998 e um limite de detecção de  $0,18 \mu\text{mol L}^{-1}$ .

**Figura 5:** (A) Amperograma obtido com o eletrodo de BDD em solução de SER em diferentes concentrações (a - g): 0,5; 0,7; 1,0; 3,0; 5,0; 8,0; 10,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , (B) Curva Analítica obtida para a SER.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Após obter a curva analítica, fez-se o estudo de repetibilidade intra e entre dias. Os desvios padrão relativos foram menores que 10,2 %, indicando que o método proposto apresenta precisão satisfatória.

## Estudo comparativo das condições analíticas dos métodos propostos com os métodos eletroanalíticos encontrados na literatura

As faixas lineares de concentração e os LDs obtidos pelos dois métodos eletroanalíticos para a determinação indireta da SER, proposto neste trabalho, voltamétrico e amperométrico, foram comparados com os respectivos valores obtidos por outros métodos eletroanalíticos reportados na literatura. Na Tabela 1 foram apresentadas essas comparações.

**Tabela 1:** Comparação das faixas lineares e LDs obtidos neste trabalho com os limites de detecção obtidos em outros métodos eletroanalíticos encontrados na literatura.

Método	Eletrodo	LD (mol L <sup>-1</sup> )	Faixa Linear $\mu\text{mol L}^{-1}$	Ref.
SWV	BDD	$1,00 \times 10^{-7}$	0,99 – 22,0	Este trabalho
MPA-FIA	BDD	$1,80 \times 10^{-7}$	0,50 – 10,0	Este trabalho
SWV	HMDE	$1,98 \times 10^{-7}$	0,23 – 3,15	Vela et al.
AdSV-SWV	HMDE	$1,50 \times 10^{-7}$	0,20 – 1,20	Nouws et al.
OSWV	GC	$1,04 \times 10^{-5}$	40,0 – 800	Dermis e Cay
DPV-CV	R/GCE	$1,00 \times 10^{-6}$	3,00 – 90,0	Cheng et al.
FIA	CMCP	$2,80 \times 10^{-6}$	10,0 – 10000	Khater et al.

Fonte: Autorial própria, 2022.

É possível observar que os métodos desenvolvidos empregando o EDDDB apresentaram menores LDs e faixas lineares de concentração comparados aos já reportados na literatura utilizando outros eletrodos de trabalho. Além disso, os trabalhos que apresentaram valores de LDs e faixas lineares próximos ou até menores que os dos métodos propostos empregaram o HMDE, no qual utiliza-se o mercúrio, metal que apresenta alta toxicidade. Destaca-se ainda a não necessidade de modificação da superfície do EDDDB e sua durabilidade e fácil manuseio.

### Aplicação dos métodos eletroanalíticos voltamétrico (VOQ) e amperométrico (AMP-FIA) na determinação indireta da SER em amostras de medicamentos

Os métodos eletroanalíticos propostos neste trabalho foram utilizados na determinação indireta da SER em duas amostras comerciais de medicamentos. As amostras apresentam diferentes concentrações de SER nos comprimidos, 56 e 112 mg/comprimido.

As mesmas amostras foram analisadas pelo método AMP-FIA como foi mostrado no amperograma da Figura 12 (amostras 1 e 2). A partir desses dados, foi possível determinar a concentração de SER nessas amostras e comparar com os valores obtidos pelo método comparativo espectrofotométrico. Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos nas análises das amostras e os respectivos erros relativos.

**Tabela 2:** Resultados obtidos na determinação de SER em amostras de medicamentos empregando-se os métodos propostos e o comparativo.

Amostra	Rotulado	SER (mg/comprimido)			Erro <sup>1</sup> (%)	Erro <sup>2</sup> (%)
		Proposto VOQ	Proposto MPA-FIA	Espectrofotométrico		
1	56	54,2±0,5	51,8±0,7	51,3±0,9	+5,6	1,0
2	112	102±5	114±3	107±2	-4,6	6,5

<sup>1</sup> Erro Relativo: (Valor VOQ – Valor rotulado/ Valor rotulado) x 100

<sup>2</sup> Erro Relativo: (Valor AMP-FIA – Valor espectrofotométrico/ Valor espectrofotométrico) x 100

Fonte: A autoria própria, 2022.

Observou-se que os resultados obtidos com os métodos propostos estão em concordância entre si e com os resultados obtidos com o método comparativo, com erros relativos baixos, mostrando a eficiência e exatidão dos métodos propostos para a quantificação de SER neste tipo de amostra. Os métodos desenvolvidos se mostraram simples, rápidos e eficientes podendo ser utilizado para a determinação de SER em medicamentos que contenham essa substância.

## CONCLUSÃO

Os métodos eletroanalíticos desenvolvidos empregando o EDDB demonstraram-se eficazes, com alta sensibilidade e baixos limites de detecção comparados a outros métodos eletroanalíticos encontrados na literatura. Ademais, são métodos rápidos, com utilização de instrumentação relativamente de baixo custo, baixo consumo de reagentes e boa frequência analítica, (o método AMP-FIA a frequência analítica foi de 80 determinações / hora). O eletrodo de trabalho utilizado não necessitou de modificação da superfície do eletrodo, evitando procedimentos mais complexos, demorados e problemas de repetibilidade entre as medidas. Os resultados das análises das amostras comerciais de medicamentos foram concordantes com os do método comparativo (Espectrofotométrico de absorção molecular). Tais resultados indicam a viabilidade da utilização dos métodos eletroanalíticos propostos na quantificação da SER neste tipo de amostra.

## REFERÊNCIAS

ACTIS, P. et al. Influence of the surface termination on the electrochemical properties of boron-doped diamond (BDD) interfaces. *Electrochemistry Communications*, v. 10, n. 3, p.402-406, 2008.

AL-NIMRY, S.; JABER, M. A. Development and validation of an HPLC-UV method for determination of sertraline hydrochloride and application to study dissolution of tablets. *Latin American Journal of Pharmacy*, v. 36, n. 4, p.665-672, 2016.

ANDRADE, L. S. et al. A multidimensional high performance liquid chromatography method coupled with amperometric detection using a boron-doped diamond electrode for the simultaneous determination of sulfamethoxazole and trimethoprim in bovine milk. *Analytica Chimica Acta*, v. 654, n. 2, p.127-132, 2009.

BABAEI, A. et al. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@MCM-48-SO<sub>3</sub>H/ Multi-Wall Carbon Nanotubes Composite Modified Glassy Carbon Electrode: an Efficient Sensor for Sensitive and Selective Simultaneous Determination of Serotonin and Sertraline in the presence of Uric Acid. *Analytical & Bioanalytical Electrochemistry*, v. 11, n. 1, p.1-18, 2019.

BARD, A.J.; FAULKNER, L.R.; YORK, N.; BULLET, C.; BRISBANE, W.; TORONTO, S.E. **Electrochemical methods: fundamentals and applications**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

BARROS, R. C. M. et al. Filmes de diamante CVD dopado com boro. Parte I. Histórico, produção e caracterização. *Química Nova*, v. 28, n. 2, p.317-325, 2005.

BOSCH, M. E. et al. Analytical methodologies for the determination of sertraline. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, v. 48, n. 5, p.1290-1302, 2008.

BRETT, A. M. O.; BRETT, C. M. A.; **Electroquímica - Princípios, Métodos e Aplicações**, Oxford University Press, Inc., Livraria Almedina, Coimbra, 1996.

CHEN, X. et al. Ultrasound-assisted low-density solvent dispersive liquid-liquid microextraction for the simultaneous determination of 12 new antidepressants and 2 antipsychotics in whole blood by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, v. 142, p.19-27, 2017.

CHENG, H. et al. The electrochemical behavior and oxidation mechanism of sertraline on a rutin modified electrode. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, v. 674, p.7-11, 2012.

DERMIS, S.; CAY, H. Y. Electrochemical behaviour of sertraline hydrochloride at a glassy carbon electrode and its determination in pharmaceutical products using ossteryoung square wave voltammetry. *Die Pharmazie - An International Journal of Pharmaceutical Sciences*, n. 3, p.182-187, 2010.

ERK, N. Rapid and simple methods for quantitative analysis of some antidepressant in pharmaceutical formulations by using first derivative spectrophotometry and HPLC. *Il Farmaco*, v. 58, n. 12, p.1209-1216, 2003.

FERRARINI, A. et al. Development and validation of a HPLC method for the determination of sertraline and three non-chiral related impurities. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, v. 53, n. 2, p.122-129, 2010.

GOSSER D. K., **Cyclic Voltammetry: Simulation and Analysis of Reaction Mechanisms**, 1<sup>a</sup> ed. New York, 1993.

HIRANO, K. et al. Relationship between brain serotonin transporter binding, plasma concentration and behavioural effect of selective serotonin reuptake inhibitors. *British Journal of Pharmacology*, v. 144, n. 5, p.695-702, 2005.

HUPERT, M. et al. Conductive diamond thin-films in electrochemistry. *Diamond and Related Materials* v. 12, n. 10-11, p.1940-1949, 2003.

IWUOHA, E. et al. Amperometric responses of CYP2D6 drug metabolism nanobiosensor for sertraline: a selective serotonin reuptake inhibitor. *IET Nanobiotechnology*, v.1, n. 4, p.62-67, 2007.

KHATER, M. et al. Surface morphology changes of polymer membrane and carbon paste sertraline sensors. *Talanta*, v. 134, p.546-553, 2015.

KRAFT, A. Doped Diamond: A Compact Review on a New, Versatile Electrode Material. *International Journal of Electrochemical Science*, v.2, p. 355-385, 2007.

LEE, J. D. *Química Inorgânica Não Tão Concisa*, 5<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2003. 527 p. Tradução: Henrique E. Toma [et al.].

LIMA, A. B. et al. Determinação de nimesulida por análise por injeção em fluxo com detecção amperométrica de múltiplos pulsos. **Química Nova**, v. 36, n. 9, p.1296-1302, 2013.

LOURENCAO, B. C. et al. Analytical Applications of Electrochemically Pretreated Boron-Doped Diamond Electrodes. **ChemElectroChem**, v.7, n.6, p.1291-1311, 2020.

LOVIC, J. et al. Electrochemical determination of sertraline in pharmaceutical formulation and serum using a gold electrode in a pH 8.4 bicarbonate solution. **Monatshefte fur Chemie**, v.152, n.2, p.185-192, 2021.

LUONG, J. H. T.; MALE, K. B.; GLENNON, J. D. Boron-doped diamond electrode: synthesis, characterization, functionalization and analytical applications. *The Analyst*, v. 134, n. 10, p.1965-1979, 2009.

MACPHERSON, J. V. A practical guide to using boron doped diamond in electrochemical research. *Physical Chemistry Chemical Physics*, v. 17, n. 5, p.2935-2949, 2015.

MEDEIROS, R. A. et al. Simultaneous square-wave voltammetric determination of aspartame and cyclamate using a boron-doped diamond electrode. *Talanta*, v. 76, n. 3, p.685-689, 2008.

MILANI-HOSSEINI, MR et al. Molecularly Imprinted Polymer (MIP) Electrochemical Sensor based on Graphene Modified Platinum Electrode for Sertraline Determination. **Analytical & Bioanalytical Electrochemistry**, v. 12, n1, p.128-140,2020.

MIRANDA, J. A. T. de et al. Determinação simultânea de ácido ascórbico e ácido acetilsalicílico usando análise por injeção em fluxo com detecção amperométrica pulsada. **Química Nova**, v. 35, n. 7, p.1459-1463, 2012.

NIEMI, L. M. et al. Quantitative Determination of Antidepressants and Their Select Degradates by Liquid Chromatography/Electrospray Ionization Tandem Mass Spectrometry in Biosolids Destined for Land Application. *Analytical Chemistry*, v. 85, n. 15, p.7279-7286, 2013.

NOUWS, H. P. A. et al. Electroanalytical study of the antidepressant sertraline. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, v. 39, n. 1-2, p.290-293, 2005.

OHLWEILER, O. A. Fundamentos de análise instrumental. Rio de Janeiro; **Livros Técnicos e Científicos**; 1981.

PEREIRA, P. F. et al. Fast and simultaneous determination of sulfamethoxazole and trimethoprim using batch injection analysis with amperometric detection and boron-doped diamond electrode. **Química Nova**, p. n.e, 2015.

RAYNER-CANHAM, G.; OVERTON, T. Descriptive Inorganic Chemistry. 5. ed. New York: W.h. Freeman And Company, 2010. 662 p.

REYES-REYES, M. L. et al. UHPLC Determination of Enantiomeric Purity of Sertraline in the Presence of its Production Impurities. *Chromatographia*, v. 77, n. 19-20, p.1315-1321, 2014.

SANCHES, A. M. Determinação Amperométrica dos hormônios  $17\alpha$ -etinilestradiol e acetato de ciproterona utilizando eletrodo de DDB acoplado a um sistema FIA. 2019. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

SANTOS, W. T. P. et al. Análise por injeção em fluxo com detecção amperométrica de múltiplos pulsos: potencialidades e aplicações. **Química Nova**, p. n.e, 2011.

SHRIVER, D.F.; ATKINS, P.W. Química Inorgânica. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003. 816 p. Tradução: Maria Aparecida B. Gomes.

SILVA, M. F. C. G. Voltametria Cíclica — Aplicações ao Estudo de Mecanismos de Reações Induzidas por Transferência Electronica. *Química: Boletim da sociedade portuguesa de química*, v. 2, n. 70, p.20-26, jul. 1998.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. Princípios de Análise Instrumental. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 835 p. Tradução: Ignez Caracelli [et al.].


SOUZA, D.; MACHADO, S. A. S.; AVACA, L. A. Voltametria de onda quadrada. Primeira parte: aspectos teóricos. *Química Nova*, v. 26, n. 1, p.81-89, 2003.

TAJIK, S.; BEITOLLAHI, H. Electrochemical determination of sertraline at screen printed electrode modified with feather like  $\text{La}^{3+}/\text{ZnO}$  nano-flowers and its determination in pharmaceutical and biological samples. **Russian Journal of Electrochemistry**, v.56, N.3, P, 222-229, 2020.

TICIANELLI, E. A.; GONZALEZ, E. R. Eletroquímica: **Princípios e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2013. 220 p. Acadêmica; 17.

VAN VLACK, L. H. Princípios de ciência e tecnologia dos materiais. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1984. 567 p. 18ª Tiragem; Tradução: Edson Monteiro.

VELA, M. H.; GARCIA, M. B. Q.; MONTENEGRO, M. C. B. S. M. Electrochemical behaviour of sertraline at a hanging mercury drop electrode and its determination in pharmaceutical products. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*, v. 369, n. 7-8, p.563-566, 24 abr. 2001.



WEISSKOPF, E. et al. Simultaneous determination of selective serotonin reuptake inhibitors and their main metabolites in human breast milk by liquid chromatography-electrospray mass spectrometry. *Journal of Chromatography B*, v. 1057, p.101-109, 2017.

WRÓBLEWSKI, K.; PETRUCZYNIK, A.; WAKSMUNDZKA-HAJNOS, M. Separation and determination of selected psychotropic drugs in human serum by SPE/HPLC/DAD on C18 and Polar-RP columns. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, v. 40, n. 2, p.75-82, 2017.

# CAPÍTULO 23

## ANÁLISE COMPARATIVA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE MICROSSEGREGAÇÃO UTILIZANDO O SOFTWARE GEOGEBRA EM CURSOS DE ENGENHARIA

**José Elias dos Santos Filho**  
**Roberto Mariano de Araújo Filho**  
**Sérgio de Albuquerque Souza**

### RESUMO

Este trabalho apresenta possibilidades do uso do software Geogebra para o ensino e aprendizagem de diferentes modelos analíticos de microsegregação que fazem parte dos conteúdos ministrados nos anos iniciais dos cursos de Engenharia de Materiais e Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) entre outras. Um desses modelos matemáticos de microsegregação analisados, através de um objeto de aprendizagem construído no Geogebra, é o modelo matemático simplificado levando em consideração o fenômeno físico denominado Termodifusão (Efeito Soret). Tal modelo foi proposto na tese de doutorado denominado Modelo Analítico de Microsegregação na Solidificação de Ligas Binárias Considerando o Efeito de Soret (SANTOS FILHO, 2020). O objeto de aprendizagem denominado Modelos de Microsegregação Dinâmicos foi construído para auxiliar os professores que ministram as disciplinas nos cursos de engenharia e que abordam a solidificação de ligas metálicas. Três modelos de microsegregação durante a solidificação de uma liga binária são apresentados simultaneamente através do Geogebra de forma dinâmica e que possibilita uma análise comparativa entre os modelos pelo professor, bem como a possibilidade de analisar a influência do efeito da termodifusão (efeito Soret) durante a solidificação de ligas binárias.


**PALAVRAS-CHAVE:** Educação em Engenharia. Modelagem Matemática. Modelos de Microsegregação. Objetos de Aprendizagem. Geogebra.

### INTRODUÇÃO

Nos cursos de Engenharia de Materiais, bem como na Engenharia Mecânica, os alunos se deparam com disciplinas, logo nos primeiros anos de formação, que abordam conceitos de fundamental importância em sua formação profissional. Conceitos como diagramas de equilíbrio de fases e solidificação de ligas metálicas são conceitos de difícil compreensão por parte dos alunos.

Durante os estudos realizados no curso de doutorado, do programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, foi observado que um dos entraves para os professores que lecionam as disciplinas no curso de engenharia de materiais, diz respeito a utilização das tecnologias digitais em especial a utilização de objetos de aprendizagem. Segundo Lins (2010),





os professores que já atuam em sala de aula e utilizam tecnologias digitais, apenas reproduzem práticas tradicionais, sem explorar o devido potencial desses recursos.

Neste artigo, será apresentado um objeto de aprendizagem, denominado de Modelos de Microsegregação Dinâmicos, construído com o software Geogebra e que pode ser utilizado por professores dos cursos de engenharia que necessitam de uma melhor ferramenta para abordar e explorar os conceitos de difusão, diagrama de equilíbrio de fases, processo de solidificação de ligas metálicas, bem como trabalhar com modelos matemáticos de microsegregação que descrevem, de forma simples, a redistribuição de soluto durante a solidificação de uma liga binária.

Também faremos aqui uma breve exposição do principal resultado de uma tese de doutorado concluída (SANTOS FILHO, 2020) e que teve como um dos objetivos a criação de um modelo matemático de microsegregação levando-se em consideração um fenômeno físico conhecido como efeito Soret, ou simplesmente Termodifusão. Tal modelo matemático também foi inserido no objeto de aprendizagem mencionado afim de que os alunos possam visualizar, de forma dinâmica, como se dá a solidificação quando se é levado em conta mais um fenômeno físico, em especial o fenômeno da termodifusão, ou efeito Soret.

## **UM MODELO MATEMÁTICO DE MICROSSEGREGAÇÃO COM EFEITO SORÉT**

O processo de solidificação desempenha um papel importante na metalurgia, pois determina as propriedades físicas e mecânicas das peças solidificadas. Na maioria dos processos industriais, os materiais se solidificam dentro de um intervalo de temperatura, passando por uma transformação de fase.

As microestruturas de solidificação influenciam diretamente as propriedades do material. Não só o padrão da própria microestrutura, mas também a distribuição dos seus componentes químicos (segregação) influencia fortemente as propriedades mecânicas (MEZA *et al.*, 2013). A diferença de solubilidade nas diferentes fases induz a redistribuição do soluto, principalmente durante a solidificação.

Existem dois tipos de segregação: (i) a microsegregação, em que a segregação é observada em cada fase diferente, na escala de suas menores estruturas, e a (ii) macrosegregação, que é a segregação envolvendo uma escala maior, ao longo do corpo solidificado, e está normalmente associada ao movimento convectivo do líquido segregado, durante o processo de solidificação.

Existem na literatura, modelos matemáticos para obtenção das composições do líquido e do sólido interdendrítico, tais como regra da alavanca (DANTZIG; RAPPAZ, 2009), Gulliver-Scheil (GULLIVER, 1913), Brody-Flemings (BOWER; BRODY; FLEMINGS, 1966) e o modelo de Yoo-Viskanta (YOO; VISKANTA, 1997), entre outros. Os modelos matemáticos mais utilizados nas disciplinas que abordam a solidificação de ligas metálicas nos cursos de engenharia são a regra da alavanca, equação (1), e o modelo de Gulliver-Scheil, equação (2), a saber:

$$g_s = \frac{1}{1 - k_0} \left( \frac{T - T_f}{T_0 - T_f} \right) \quad (1),$$

$$g_s = 1 - \left( \frac{T - T_f}{T_0 - T_f} \right)^{\frac{1}{k_0 - 1}} \quad (2),$$

Onde  $g_s$  é a fração de sólido na temperatura  $T$ ,  $k_0$  é o coeficiente de partição,  $T_0$  é a temperatura *liquidus* correspondente à fração de massa inicial  $C_0$  do soluto na liga e  $T_f$  é a temperatura de fusão.

Os modelos matemáticos para microsegregação durante a solidificação de uma liga binária não levam em consideração o efeito da termodifusão. A termodifusão (efeito Soret), é a difusão das espécies químicas devido a diferença de temperatura estabelecido. Este efeito é o movimento das partículas para o lado frio ou quente do gradiente de temperatura, o que torna o problema mais complexo. Uma vez que o gradiente de temperatura no líquido é frequentemente elevado em comparação com a temperatura na parte sólida, a termodifusão não é necessariamente insignificante podendo ter uma influência considerável sobre a composição do líquido e o produto final solidificado (JAFAR-SALEHI; ESLAMIAN; SAGHIR, 2016).

Diante do contexto, Santos Filho (2020) propôs em sua tese de doutorado um modelo matemático de microsegregação levando-se em conta o efeito da Termodifusão (SANTOS FILHO, 2020). O referido modelo de microsegregação incluindo o efeito Soret pode ser amplamente utilizado no estudo da redistribuição de solutos, com a vantagem de ser menos restritivo quanto aos fenômenos físicos inerentes ao processo de solidificação. O desenvolvimento do modelo mencionado permitiu a definição de um parâmetro adimensional ( $H$ ) potencialmente útil para avaliar o efeito Soret na solidificação de ligas binárias. Tal modelo é expresso da seguinte forma:

$$g_s = 1 - \left( \frac{T - T_f}{T_0 - T_f} \right)^{\frac{1}{k_0 - 1} + H} \left( \frac{T_0}{T} \right)^H \left[ \exp \left( \frac{T_0}{T} - 1 \right) \right]^H \quad (3)$$

Onde  $g_s$  é a fração de sólido obtida na temperatura  $T$ ,  $T_0$  é a temperatura *liquidus* correspondente à fração de massa inicial  $C_0$  do soluto na liga e  $T_f$  é a temperatura de fusão e  $H = \frac{C_{A_0} C_{B_0} m_\ell D^T}{(1-k_0) \alpha}$  é o parâmetro adimensional que relaciona a termodifusão ( $D^T$ ), transferência de calor ( $\alpha$ ), a quantidade de soluto segregado devido a solidificação ( $k_0$ ) e o potencial térmico ( $C_{B_0} m_\ell$ ).

Observe que se desprezarmos o efeito de Soret (ou termodifusão), isto é, se fizermos  $H = 0$ , temos a equação de Gulliver-Scheil, equação (2), oriunda da expressão (3) acima.

Na engenharia, o mérito do modelo de Gulliver-Scheil e da regra da alavanca está na simplicidade algébrica. Diante disto, também foi apresentado um modelo de microsegregação que relaciona o efeito da termodifusão de forma algebricamente simples, comparado com o modelo geral, dado pela equação (3), e mais compatível com o modelo de Gulliver-Scheil (equação 2), em relação a simplicidade algébrica. Com isso, um modelo de microsegregação com efeito de Soret simplificado é expresso na forma

$$g_s = 1 - \left( \frac{T - T_f}{T_0 - T_f} \right)^{\frac{1}{k_0 - 1} + H}. \quad (4)$$

Esta equação é resultante da equação (3) onde os dois últimos termos são desprezados.

Observe que, assim como foi feito no modelo de microsegregação com efeito Soret original (equação 3), para o caso em que  $H = 0$ , a equação (4) se reduz ao modelo de Gulliver-Scheil, (equação 2), tornando assim o modelo de Gulliver-Scheil como caso particular do modelo simplificado.

## METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

O Geogebra têm sido um dos softwares mais utilizados para construção de objetos de aprendizagem de forma a auxiliar no processo de ensino e aprendizagem, tanto no Ensino Básico quanto no Ensino Superior. Um dos propósitos dos objetos de aprendizagem utilizando o Geogebra é a possibilidade de tornar os conteúdos abordados em sala de aula mais próximos dos alunos, de forma mais efetiva. No caso específico deste trabalho, o foco foi construir um objeto de aprendizagem com o Geogebra chamado de Modelos de Microsegregação Dinâmicos, para possibilitar ao professor trabalhar uma análise comparativa dos diferentes modelos matemáticos de microsegregação que são apresentados de forma recorrente nos cursos de Engenharia de Materiais e Engenharia Mecânica, e que fazem parte dos conteúdos,

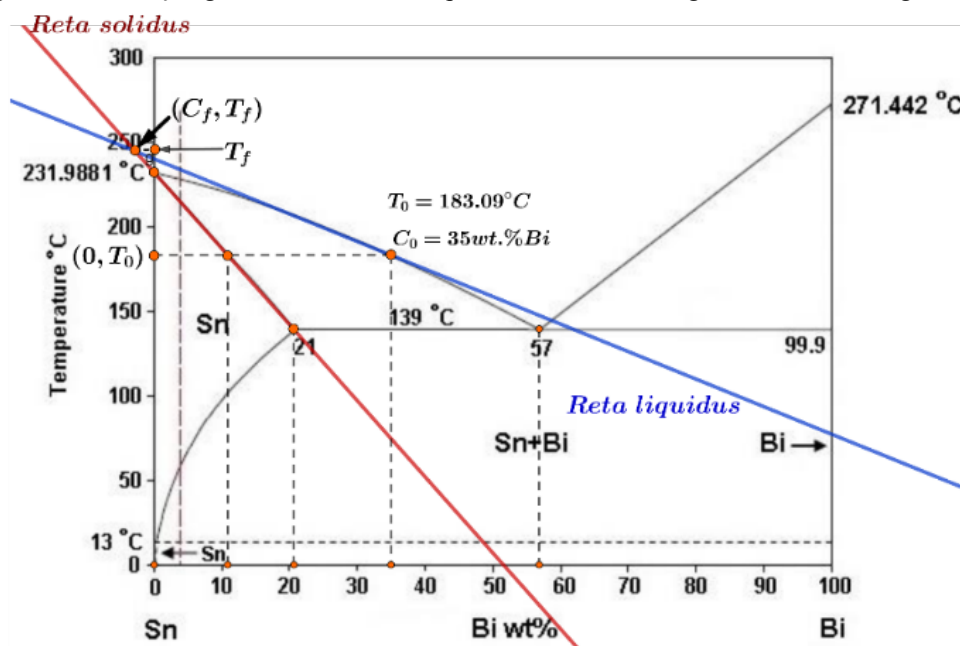
por exemplo, das disciplinas de Introdução a Ciência dos Materiais e Transformação de Fases ou em componentes curriculares equivalentes.

Iremos aqui descrever o processo metodológico que um docente deve seguir para a utilização do objeto de aprendizagem sugerido.

Inicialmente, o professor deve escolher qual liga metálica ele deseja trabalhar em sala de aula com seus alunos. Recomenda-se que a escolha dessa liga binária seja aquela que possui um diagrama de fases mais simples possível e que também seja um composto bastante utilizado nos estudos de fundição nos laboratórios práticos dos cursos de engenharia. Como exemplo, vamos considerar uma liga metálica Sn-35% p.Bi, isto é, uma liga Estanho-Bismuto com concentração de 35% de bismuto. Tal liga é bastante citada em artigos acadêmicos (JAFAR-SALEHI; ESLAMIAN; SAGHIR, 2016) e possui um diagrama de fases acessível, bem como, possibilita uma leitura dos fenômenos envolvidos no processo de solidificação de fácil compreensão por parte dos alunos.

A figura 1, nos mostra o diagrama de fases com todas as etapas iniciais que os alunos devem fazer para obter os dados necessários para a utilização do objeto de aprendizagem e iniciar qualquer discussão sobre os três modelos matemáticos de microsegregação envolvidos. A seguir descreveremos as etapas para obtenção dos dados necessários para utilização do objeto de aprendizagem sugerido.

**Figura 01:** Ilustração geométrica das retas *liquidus* e *solidus* no diagrama de fases da liga Sn-Bi.



Fonte: Adaptado de Abdelaziz, Zahran e Al-Rehim (2017).

## ETAPAS PARA CONSTRUÇÃO DOS TRÊS MODELOS DE MICROSSEGREGAÇÃO

1. O professor deve dividir os alunos em equipes de quatro a cinco alunos por equipe. Depois ele deve distribuir com as equipes o diagrama de fases da liga Sn-Bi para que os alunos obtenham os dados necessários, ver figura 1, para utilização dos modelos matemáticos e do referido objeto de aprendizagem. O professor deve aproveitar o momento para fazer uma revisão sobre diagrama de fases de ligas binárias.

2. No ponto da linha *liquidus*, em que  $C_0 = 35\%$ , o aluno deve fazer a projeção ortogonal para o eixo da Temperatura e marcar o ponto de interseção da reta ortogonal com a linha *solidus* e o ponto de interseção com o eixo da temperatura, ponto  $(0, T_0)$ .

3. Utilizando uma régua os alunos devem fazer uma aproximação linear para as curvas *liquidus* e *solidus* construindo uma reta denominada *liquidus* (azul) e uma reta denominada *solidus* (vermelho) com base no ponto em que  $C_0 = 35\%$ . Devem marcar o ponto de interseção entre as retas que será o ponto  $(C_f, T_f)$ .

4. A temperatura de fusão  $T_f$ , utilizada em todos os modelos de microsegregação, será obtida da interseção entre as retas *liquidus* e *solidus*, que neste caso é  $T_f = 244,97^\circ\text{C}$ . Para se obter esse resultado deve-se utilizar uma regra de três simples da seguinte forma:

4.1- Com uma régua, o aluno deve medir o comprimento ( $c_1$ ) do segmento definido pelos pontos  $(0, 0)$  e  $(0, 231.9881^\circ\text{C})$ .

4.2- Com uma régua, o aluno deve medir o comprimento ( $c_2$ ) do segmento definidos pelos pontos  $(0, 0)$  e a projeção ortogonal  $(0, T_f)$ .

4.3- Resolver a equação  $\frac{c_1}{c_2} = \frac{231.9881^\circ\text{C}}{T_f}$ .

5. De forma semelhante ao que foi feito na etapa 4, encontra-se o valor da temperatura  $T_0 = 183,09^\circ\text{C}$  correspondente a concentração inicial  $C_0 = 35\%$ .

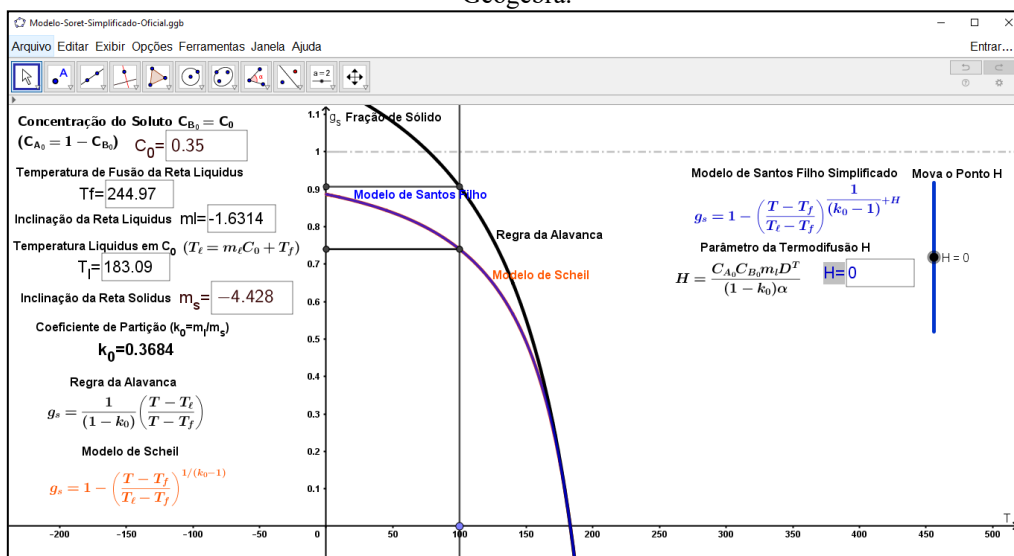
6. Utilizando os pontos  $(C_0, T_0)$  e  $(C_f, T_f)$  encontra-se a equação da reta *liquidus* que é dada por:  $T_l = m_l \cdot C + n = -1,6314C + 513,34$ . Analogamente, utilizando os pontos  $(0, 231.9881)$  e  $(C_f, T_f)$  determina-se a reta *solidus* que no caso em questão é dada da forma:  $T_s = m_s \cdot C + p = -4,4280C + 505,14$ .

7. Com esses resultados em mãos o aluno deve abrir no Geogebra o objeto de aprendizagem e digitar as informações solicitadas nos campos de entradas destacados. São eles:

- I-Concentração inicial  $C_0 = 0,35$  ;
- II- Temperatura de fusão:  $T_f = 244,97$
- III- Inclinação da reta *liquidus*:  $m_l = -1,6314$ .
- IV- Temperatura Liquidus em  $C_0 = 0,35$ :  $T_l(C_0) = 183,09$ .
- V- Inclinação da reta *solidus*:  $m_s = -4,428$ .

Depois que todos os dados estejam inseridos no objeto de aprendizagem, ver figura 2, os alunos poderão observar as curvas geradas pelos diferentes modelos de microsegregação (figura 2). Nesse momento, o professor pode explorar simultaneamente o diagrama de fases da liga Sn-Bi (figura 1) e as curvas de microsegregação geradas pelo objeto de aprendizagem feito no Geogebra, dos respectivos modelos de microsegregação descritos (figura 2).

**Figura 02:** Objeto de aprendizagem denominado Modelos de Microsegregação Dinâmicos utilizando o Geogebra.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A figura 2 nos mostra o objeto de aprendizagem denominado Modelos de Microsegregação Dinâmicos que foi construído com o software Geogebra para o estudo da liga metálica Estanho-Bismuto (Sn-Bi) com concentração inicial de bismuto de 35% ( $C_0 = 0,35$ ). A figura 2 também nos mostra as curvas referentes aos três modelos matemáticos de microsegregação, a Regra da Alavanca (equação 1), Modelo de Gulliver-Scheil (equação 2) e o Modelo de Santos Filho (equação 4).

Também podemos observar na figura 2, que o parâmetro da termodifusão considerado é nulo,  $H = 0$ , e assim, a curva gerada pelo modelo de Santos Filho se sobrepõe a curva gerada pelo modelo de Gulliver-Scheil, devido ao fato de que o modelo de Gulliver-Scheil é um caso particular do modelo de Santos Filho quando se despreza a termodifusão (efeito Soret).

Nesse objeto de aprendizagem, o professor tem a oportunidade de trabalhar com seus alunos, de forma prática, na análise do diagrama de fases de uma liga binária, adotada inicialmente, e construir de forma dinâmica as curvas geradas pelos três modelos de microsegregação descritos, gerando discussões acerca dos fenômenos físicos envolvidos no processo de solidificação, em especial ao fenômeno de transporte de massa denominado efeito Soret (Termodifusão). A seguir fazemos uma discussão acerca do potencial desse objeto de aprendizagem no ensino e aprendizagem sobre diagrama de fases e modelos de microsegregação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

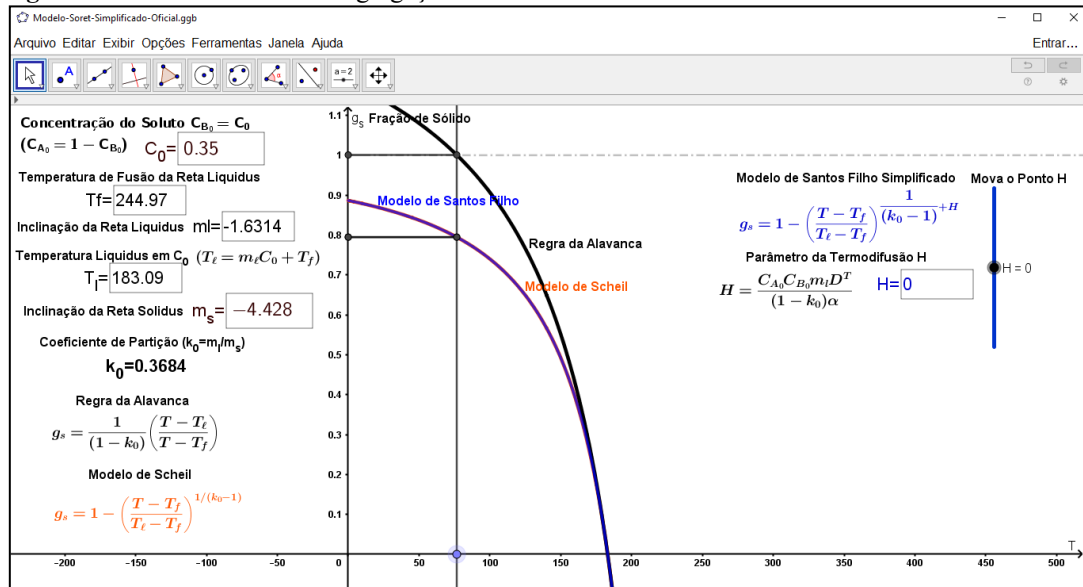
Ao inserir os dados iniciais,  $C_0, T_f, m_l, T_l$  e  $m_s$ , no objeto de aprendizagem, o professor verá a construção das curvas dos três modelos de microsegregação descritos na janela do Geogebra (figura 2). Com isso, ele deve explorar a representação gráfica gerada para fazer uma reflexão sobre o processo de solidificação de uma liga binária, podendo levar em consideração o efeito da termodifusão (efeito Soret) bastando fazer  $H \neq 0$ , ou desprezar o efeito da termodifusão fazendo  $H = 0$ .

Para ajudar na reflexão, encontra-se no eixo T (eixo horizontal) um ponto na cor azul que indica uma temperatura qualquer, bem como os pontos de interseção com as respectivas curvas de microsegregação apresentadas.

Observe, através da figura 2, que quando  $T = 100^\circ\text{C}$  a fração de sólido,  $g_s$ , gerada pela regra da alavanca (curva em preto) é por volta de 90%, enquanto a fração de sólido,  $g_s$ , gerada pelos modelos de Gulliver-Scheil (curva em laranja) e de Santos Filho (curva em azul) é por volta de 75%, já que os modelos se identificam pelo fato de que  $H = 0$ .

Já na figura 3, vemos que quando a temperatura estiver por volta de  $T = 75^\circ\text{C}$  a solidificação da liga metálica em estudo estará completamente sólida, se utilizarmos o modelo da regra da alavanca para estabelecer a fração de sólido, que neste caso é  $g_s = 100\%$ . No entanto, se utilizarmos o modelo de Gulliver-Scheil e o modelo de Santos Filho (com  $H = 0$ ) a fração de sólido,  $g_s$ , é por volta de 80%.

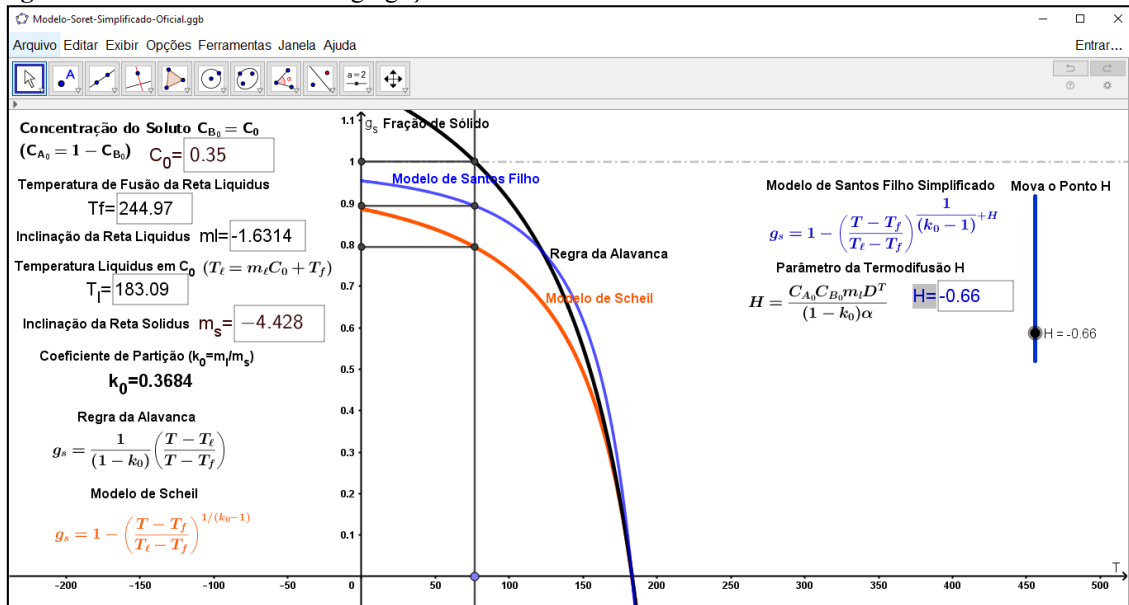
**Figura 03:** Modelos de Microsegregação Dinâmicos considerando  $H = 0$  no modelo de Santos Filho.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Se considerarmos o parâmetro de termodifusão  $H = -0.66 < 0$ , por exemplo, no modelo de microsegregação de Santos Filho, poderemos observar através da figura 4, que os modelos de Gulliver-Scheil e o modelo de Santos Filho diferem. Quando a temperatura estiver por volta de  $T = 75^\circ\text{C}$  a solidificação da liga metálica em estudo estará com a fração de sólido,  $g_s$ , por volta de 80%, com base no modelo de Gulliver-Scheil, já o modelo de Santos Filho, considerando  $H = -0.66$ , a fração de sólido,  $g_s$ , é por volta de 90%, mostrando assim uma influência do efeito Soret (Termodifusão) no processo de solidificação.

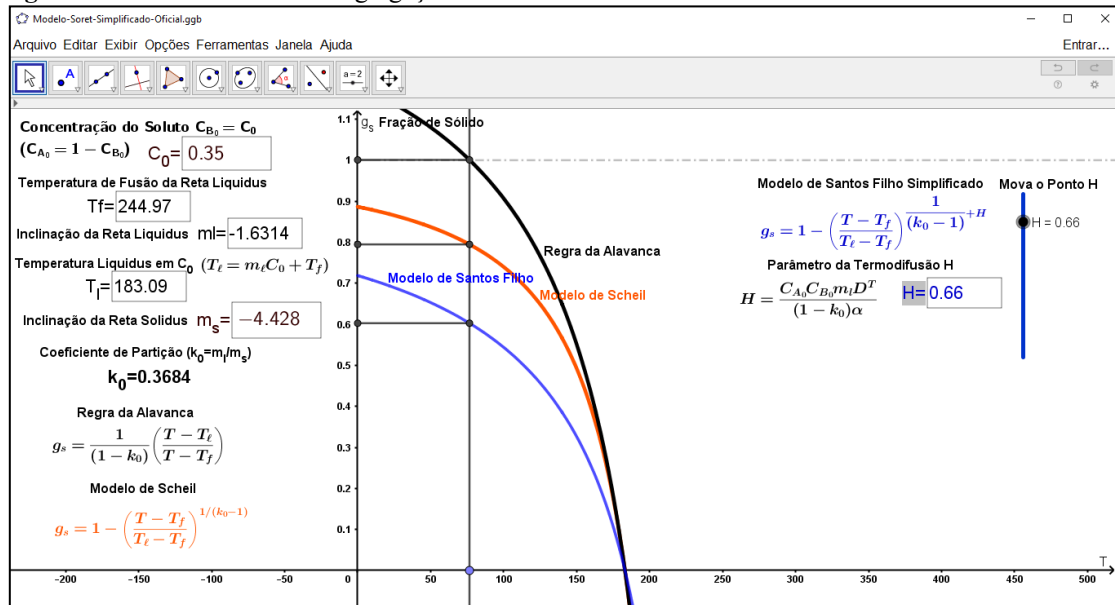
**Figura 04:** Modelos de Microsegregação Dinâmicos considerando  $H = -0.66$  no modelo de Santos Filho.



Fonte: Autoria própria, 2022.



**Figura 05:** Modelos de Microsegregação Dinâmicos considerando  $H = 0.66$  no modelo de Santos Filho.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Consideremos agora o parâmetro de termodifusão como sendo  $H = 0.66 > 0$  no modelo de microsegregação de Santos Filho. Nota-se agora, ver figura 5, que os modelos de Gulliver-Scheil e o modelo de Santos Filho ainda diferem. Se considerarmos a temperatura por volta de  $T = 75^\circ\text{C}$ , a solidificação da liga metálica em estudo estará com a fração de sólido,  $g_s$ , por volta de 80%, com base no modelo de Gulliver-Scheil. Mas agora, o modelo de Santos Filho (com  $H = 0.66$ ) nos mostra uma fração de sólido,  $g_s$ , por volta de 60%, ilustrando o fato de qual termodifusão retarda a solidificação. Já o modelo da regra da alavanca ainda nos diz que a liga binária está completamente solidificada quando  $T = 75^\circ\text{C}$ .

Descrevemos aqui algumas discussões que o professor poderá levar para sala de aula e possibilitar uma maior interação e participação dos alunos no processo de ensino e aprendizagem, já que o objeto de aprendizagem proposto possibilita a visualização, de forma dinâmica, da influência de fenômenos físicos na análise do processo de solidificação de ligas binárias. Processo esse, que é de fundamental importância para construções de materiais mais resistente e duradouros.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho apresentamos um objeto de aprendizagem dinâmico, construído com o software Geogebra, como proposta para o ensino e aprendizagem de conceitos sobre diagrama de fases, solidificação de ligas binárias e modelos matemáticos de microsegregação que são conteúdos estudados nos cursos de engenharia de diversas universidades.

Um modelo matemático de microsegregação simplificado de Santos Filho foi apresentado pelo fato de que esse modelo matemático inclui um fenômeno físico denominado efeito Soret, ou simplesmente termodifusão. Tal modelo, possibilita que o docente possa discutir em sala de aula a existência de modelos matemáticos de microsegregação diferentes dos modelos clássicos da literatura como o modelo da Regra da Alavanca e o Modelo de Guulliver-Scheil.

A utilização do objeto de aprendizagem construído com o Geogebra, denominado Modelos de Microsegregação Dinâmicos, em sala de aula, mostra-se bastante eficiente e eficaz, possibilitando uma melhor visualização da influência de fenômenos físicos no processo de solidificação, tal como o fenômeno da termodifusão, e que muitas vezes são desprezados pelos engenheiros. A forma dinâmica de como o objeto de aprendizagem proposto apresenta a influência da termodifusão (efeito Soret) no processo de solidificação, simplifica a compreensão por parte dos alunos da influência dos fenômenos físicos envolvidos no processo de solidificação de ligas binárias.

## REFERÊNCIAS

ABDELAZIZ, S. M; ZAHRAN, H; EL-REHIM, A. A. Microstructure and mechanical properties of tin-bismuth solder alloy reinforced by antimony oxide nanoparticles. **International Journal of Advances in Engineering & Technology**, IAET Publishing Company, v. 10, n. 1, p. 73, 2017.

BOWER, T. F; BRODY, H; FLEMINGS, M. C. Measurements of solute redistribution in dendritic solidification. **The American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers**. v. 236, n. 5, p. 624–634, 1966.


DANTZIG, J. A; RAPPAZ, M. **Solidification**. [S.l.]: EPFL press, 2009.

GULLIVER, G. The quantitative effect of rapid cooling upon the constitution of binary alloys. **J. Inst. Met**, v. 9, n. 1, p. 120–157, 1913.

JAFAR-SALEHI, E; ESLAMIAN, M; SAGHIR, M. Effect of thermodiffusion on the fluid flow, heat transfer, and solidification of molten metal alloys. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, Elsevier, v. 19, n. 1, p. 511–517, 2016.

KURZ, W; FISHER, D. J. **Fundamentals of Solidification**. Trans. Tech. Publications Ltd, 1998.

LINS, W. C. B. **Interações em Atividades de Docência Online em Ambientes de Imersão 3D**. 264f. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Educação, Universidade Federal de Pernambuco, 2010.



MEZA, E. S. et al. **The effect of the growth rate on microsegregation: Experimental investigation in hypoeutectic al-fe and al-cu alloys directionally solidified.** Journal of Alloys and Compounds, Elsevier, v. 561, p. 193–200, 2013.

SANTOS FILHO, J. E. **Modelo Analítico de Microsegregação na Solidificação de Ligas Binárias Considerando o Efeito Soret.** 111f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, 2020.

YOO, H; VISKANTA, R. Solute redistribution limit in coarsening dendrite arms during binary alloy solidification. **International journal of heat and mass transfer**, Elsevier, v. 40, n. 16, p. 3875–3882, 1997.

# CAPÍTULO 24

## RELAÇÃO ESPACIAL DOS CASOS DE COVID-19 DA REGIÃO METROPOLITANA DE SOROCABA COM INDICADORES SOCIOECONÔMICOS

**Gabriela Gomes**  
**João de Jesus Vieira**  
**Liliane Moreira Nery**  
**Jonilson Michel Fontes Galvão**  
**Darllan Collins da Cunha e Silva**  
**Vanessa Cezar Simonetti**

### RESUMO


A COVID-19 é caracterizada por ser uma doença altamente contagiosa, de rápida transmissão, através de contato direto entre pessoas ou com superfícies e objetos contaminados. Os países, na tentativa de conter a propagação do coronavírus, implantaram gradativamente estratégias diferentes de isolamento e distanciamento social. Contudo, foram observadas repercussões negativas dessas medidas, principalmente em pessoas que já se encontravam em situações de vulnerabilidade social. Deste modo, considerando a importância dos estudos que contemplem a análise de indicadores socioeconômicos e sua relação com a propagação de doenças, essa pesquisa procurou verificar a relação de fatores socioeconômicos com a propagação do coronavírus nos 27 municípios que compõem a Região Metropolitana de Sorocaba (RMS), utilizando geoprocessamento e estatística na avaliação de indicadores sociais. Dentre os indicadores sociais analisados: longevidade; riqueza; e escolaridade, a maior taxa de casos de COVID-19 ocorreu em municípios com: longevidade alta; riqueza baixa; e escolaridade média a alta. Além disso, verificamos que Sorocaba foi a cidade da RMS que possui o maior número de casos do novo coronavírus, apesar do município possuir bons índices para os indicadores analisados, evidenciando que a densidade populacional é um fator relevante.

**PALAVRAS-CHAVE:** Coronavírus. Epidemiologia. Geoprocessamento. Análise espacial.

### INTRODUÇÃO

A COVID-19 é uma doença caracterizada por um vírus altamente contagioso e de transmissão ligeira, através de contato direto entre pessoas ou com superfícies e objetos contaminados, que causa distúrbios no sistema respiratório com sintomas iniciais semelhantes à de uma gripe, podendo apresentar febre, tosse seca e dificuldade para respirar (CARLOS et al., 2020; HE; DENG; LI, 2020; ZUMLA et al., 2020; MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL, 2020).

As primeiras confirmações da ocorrência da COVID-19 foram em dezembro de 2019 em Wuhan, China, e em 11 de março de 2020 a Organização Mundial da Saúde (OMS) classificou a doença como uma pandemia. Em 23 de janeiro de 2020, o Brasil teve seu primeiro



caso confirmado no município de São Paulo, que foi oficialmente reportado pelo Ministério da Saúde do Brasil em 25 de fevereiro (FERREIRA et al., 2020; URBAN; NAKADA, 2020). De acordo com o Governo do Estado de São Paulo (2020), a faixa etária com maior manifestação da COVID-19 é a de pessoas entre 30 e 39 anos, e a faixa etária que apresenta mais óbitos é formada por pessoas de 70 a 79 anos.


Os países que foram afetados implantaram gradativamente no espaço intranacional estratégias diferentes de isolamento e distanciamento social (SENHORAS, 2020). Contudo, a pandemia da COVID-19 gerou impactos negativos que se manifestam não só em um problema epidemiológico para os países atingidos, mas também gerou um efeito cascata em diversas atividades humanas frente as repostas de isolamento social (ZAMBRANO-MONSERRATE; RUANO; SANCHEZ-ALCALDE, 2020). No campo social, por exemplo, foram observadas repercussões negativas dessas medidas, principalmente em pessoas que já se encontravam em situações de vulnerabilidade, devido à má condição de moradia, informalidade do trabalho e o difícil acesso aos serviços de saúde (ESTRELA et al., 2020).

Apesar dos primeiros casos confirmados no Brasil referirem-se às pessoas economicamente favorecidas, que retornavam de suas viagens internacionais, também se observou a ocorrência da doença em camadas sociais menos favorecidas, com casos relatados em motoristas de aplicativo, empregadas domésticas e entregadores de alimentos, que ao terem contato com aqueles que viajaram, se infectaram e levaram a enfermidade para suas casas (ESTRELA et al., 2020).

Estrela et al. (2020), afirmam que gênero, raça e classe se apresentam como condições que levam a vulnerabilidade para a manifestação da COVID-19. Souza, Machado e Carmo (2020), verificaram que 56,2% dos municípios brasileiros com casos confirmados de coronavírus, apresentam baixo índice de desenvolvimento humano (IDH), demonstrando uma maior taxa de incidência nos municípios com maior vulnerabilidade social.

A falta de estrutura e acesso à recursos básicos como água e saneamento, seja nas periferias ou em cidades pequenas do interior, podem aumentar o risco de contaminação e transmissão da COVID-19 (SOUZA; MACHADO; CARMO, 2020). Portanto, é indispensável a adoção de políticas socioeconômicas de grande impacto que expandam as condições de moradia, saúde, renda e educação de forma adequada.

Considerando que a vulnerabilidade social está relacionada com a exposição de um determinado grupo a um risco, sua incapacidade de reação e a sua dificuldade de adaptação



frente a esse risco, destaca-se a importância dos estudos que contemplam as regiões metropolitanas, principalmente no âmbito dos indicadores socioeconômicos, uma vez que se observa uma tendência de grupos de baixa renda residirem em áreas com condições urbanísticas e sanitárias inadequadas (ALVES, 2006).

Estudos sobre a relação dos casos de Covid-19 com indicadores socioeconômicos em regiões metropolitanas ainda são incipientes, mas um estudo similar realizado por Ribeiro e Paixão (2021) mostra que houve maiores índices de casos e óbitos em municípios onde a renda de trabalhadores formais é maior e evidencia uma relação de regiões com maior desigualdade com maiores incidências de COVID-19.

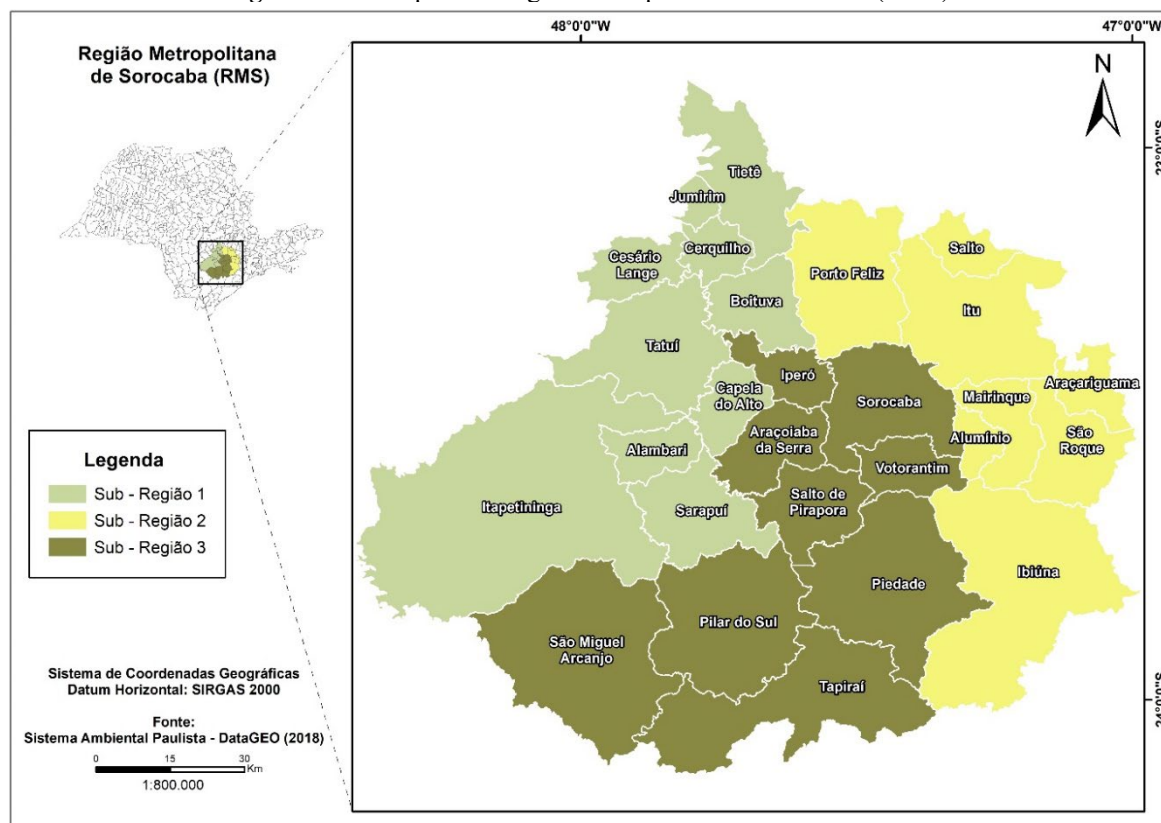
Diante do exposto, esse estudo relacionou os indicadores demográficos e socioeconômicos com a propagação do coronavírus nos 27 municípios que compõem a Região Metropolitana de Sorocaba (RMS), utilizando dados referentes ao índice de desenvolvimento humano (IDH), sendo eles: longevidade; escolaridade; e riqueza, em conjunto com técnicas de geoprocessamento e análises estatísticas.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização da área de estudo**

A Região Metropolitana de Sorocaba (RMS) está localizada no Estado de São Paulo, sendo instituída em 8 de maio de 2014, com o propósito de proporcionar a integração do planejamento e da execução das utilidades públicas de interesse comum as figuras públicas atuantes nessa região (SÃO PAULO, 2014). A área de estudo compreende 27 municípios paulistas que dispõem de uma população estimada de 2.120.095 de habitantes, abrigando 4,65% da população do Estado de São Paulo (EMPLASA, 2019). Os municípios da RMS estão separados em 3 sub-regiões (Figura 1).

**Figura 1:** Municípios da Região Metropolitana de Sorocaba (RMS).




Fonte: Autoria própria, 2022.

A RMS possui um importante papel na economia nacional, com um Produto Interno Bruto (PIB) igual a 67,24 bilhões de reais, o que equivale a 4% do Produto Interno Bruto (PIB) paulista. A economia da RMS é diversificada e uma produção industrial altamente desenvolvida, com destaque nos setores: eletroeletrônico; metalmeccânico; têxtil; e agronegócio. A RMS é também considerada a Região Metropolitana com a maior diversidade na produção agrícola do Estado de São Paulo (EMPLASA, 2019).

### Elaboração dos planos de informação (PI)

A interação de dados ambientais, demográficos e socioeconômicos é permitido por meio da abordagem espacial, possibilitando a união de informações advindas de diversos bancos de dados (SILVA et al., 2014). A utilização de dados espaciais e georreferenciados, em específico em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permite análises complexas, mais rápidas e com uma capacidade de modelar diferentes cenários. Esses mecanismos facilitam a tomada de decisões e auxiliam em uma compreensão mais correta dos problemas atuais de saúde (FLAUZINO; SANTOS; OLIVEIRA, 2008). O SIG utilizado neste estudo foi o ArcGIS 10.6.1.



O presente trabalho utilizou os dados socioeconômicos do ano de 2018 fornecidos pela Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados Estatísticos (SEADE, 2018), disponibilizados pelo Sistema Ambiental Paulista (DataGEO), dados de casos de COVID-19 disponibilizados pela Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE) (<https://www.seade.gov.br/coronavirus/>). Para a análise espacial, os PI com os dados qualitativos dos indicadores socioeconômicos foram sobrepostos nos dados quantitativos dos casos de COVID-19 a cada um mil habitantes.

### **Indicador de riqueza por município da RMS**

Esse indicador sintetiza a riqueza dos municípios expressa em uma escala de 0 a 100, em uma combinação linear de quatro variáveis: consumo residencial de energia elétrica; consumo de energia elétrica na agricultura, no comércio e nos serviços; total da remuneração dos empregados com carteira assinada e do setor público mais os benefícios previdenciários divididos pela população de 15 anos; e o produto interno bruto per capita. Em 2018, municípios com valores até 38 foram classificados com baixa riqueza e os com valores iguais ou superiores a 39 foram classificados com alta riqueza (SEADE, 2018).

A desigualdade social e a má distribuição de renda são precursoras de uma série de problemas (MENDONÇA et al., 2020). Por essa razão, o estudo buscou avaliar se o indicador de riqueza dos municípios da RMS possui relação com a maior incidência de casos de COVID-19.

### **Indicador de longevidade por município da RMS**

O indicador de longevidade consiste em uma combinação de três variáveis distintas: a taxa de mortalidade de adultos entre 60 e 69 anos; a taxa de mortalidade perinatal e infantil; e a taxa de mortalidade de adultos de 15 a 39 anos (SEADE, 2018). Portanto, esse indicador demonstra a quão longínqua é a vida de uma pessoa a partir de seu respectivo nascimento.

A escolha deste indicador na composição deste estudo se deve ao número de idosos acometidos pela doença no início da pandemia (em 2020), onde a maioria dos países apresentavam altas taxas de mortalidade entre idosos. Segundo Lana et al. (2021) a idade é um fator de risco para hospitalização e óbito por COVID-19, pois pessoas com 90 anos ou mais, se comparado ao risco médio geral, possuem um sobrerisco até 8 vezes maior de serem internadas e um sobrerisco de até 18 vezes maior de falecimento.



## **Indicador de escolaridade por município da RMS**

O indicador sintético de escolaridade é uma combinação linear de quatro variáveis: taxa de atendimento escolar na faixa de 0 e 3 anos; média da proporção de alunos da rede pública que atingiram o nível adequado nas provas de português e matemática (5º ano do Ensino Fundamental); média da proporção de alunos da rede pública que atingiram o nível adequado nas provas de português e matemática (9º ano do Ensino Fundamental); e taxa de distorção idade-série no ensino médio. Esse indicador é expresso em uma escala de 0 a 100, portanto, em 2018, as classes de escolaridade consideradas foram: Baixa = até 52; Média = 53 a 60; Alta = igual ou superior a 61 (SEADE, 2018).

A escolaridade foi selecionada como um indicador neste estudo a fim de avaliar a relação entre a baixa escolaridade e o maior número de casos de contaminação por COVID-19, por compreender que a baixa escolaridade poderia estar associada com a ausência de acesso à informação.

### **Elaboração dos mapas de taxas de casos de covid-19 por município**

Para a elaboração do mapeamento dos casos de COVID-19 na RMS, utilizou-se os dados divulgados no portal da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE) até o dia 18 de março de 2022, sendo estes dados relativos ao acumulado até o dia 16 de março de 2022. O período escolhido para o estudo se justifica pelo fato de que ele retrata cerca de dois anos de pandemia no Brasil.

De acordo com o portal da SEADE, o boletim completo sobre o coronavírus recebe atualizações diárias de informações fornecidas pelo Centro de Vigilância Epidemiológica, Secretaria de Estado da Saúde e pela Coordenadoria de Controle de Doenças, enquanto os dados no âmbito nacional são oriundos do Conselho Nacional de Secretários de Saúde. De posse do número de casos registrados para cada um dos municípios que compõem a RMS, estes foram exportados para o software ArcGIS 10.6.1., sendo normalizados em razão do número de casos de COVID-19 e a população de cada município, e apresentados em 10 classes que representam as taxas de casos a cada um mil habitantes. Posteriormente, os resultados contendo a taxa de casos por município foram sobrepostos nas camadas respectivas a cada um dos indicadores utilizados no estudo.

## Análise estatística

Para compor o estudo, foram utilizados métodos estatísticos que serviram de apoio para avaliar a possível relação entre a incidência de casos de COVID-19 com as variáveis socioeconômicas dos municípios da RMS. Para tanto, os dados referentes ao número de casos de COVID-19 foram considerados variáveis independentes, que em conjunto com os grupos das variáveis socioeconômicas: riqueza; longevidade; e escolaridade, foram submetidos ao teste não paramétrico de soma de postos *Kruskal-Wallis*, de modo a verificar a existência de diferença entre as medianas dos grupos. No caso da hipótese de nulidade ser rejeitada, os grupos foram submetidos ao teste *Dunn's post hoc* com valor de *p* corrigido de Bonferroni, assim como empregado nos estudos de Gold et al. (2020) e Collins et al. (2021).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como suporte ao estudo, no Quadro 1 são apresentados os 27 municípios da RMS divididos em suas três sub-regiões, com suas respectivas áreas, populações, densidades demográficas, PIB, PIB *per capita* e o IDH.

**Quadro 1:** Dados e indicadores dos municípios da Região Metropolitana de Sorocaba.

Sub-Região	Municípios	Área (km <sup>2</sup> )	População (hab.)	Densidade Demográfica a 2018 (hab./km <sup>2</sup> )	PIB (R\$) - 2017	PIB <i>per capita</i> (R\$) - 2017	IDH - 2010
1	Alambari	159,6	5.918	37,08	101 mi	17.477,7	0,712
	Boituva	248,96	59.793	240,16	2.697 mi	46.569,95	0,780
	Capela do Alto	169,89	20.419	120,19	286 mi	14.285,4	0,699
	Cerquillo	127,8	48.074	376,16	1.743 mi	37.302,48	0,782
	Cesário Lange	190,39	17.915	94,1	419 mi	23.835,12	0,706
	Jumirim	56,68	3.315	58,48	104 mi	32.107,90	0,741
	Sarapuí	352,52	10.177	28,87	150 mi	14.976,54	0,707
	Tatuí	523,75	120.533	230,14	3.841 mi	32.295,15	0,752
	Tietê	404,4	41.622	102,92	1.740 mi	42.411,28	0,778
	Itapetininga	1.789,35	162.231	90,66	4.459 mi	27.855,67	0,763
2	Alumínio	83,66	18.484	220,94	1.854 mi	101.155,71	0,766
	Araçariguama	145,2	21.854	150,51	2.844 mi	135.194,59	0,704
	Ibiúna	1.058,08	78.262	73,97	1.633 mi	21.050,04	0,710
	Itu	640,72	172.268	268,87	7.573 mi	44.504,91	0,773
	Mairinque	210,15	46.852	222,95	1.706 mi	36.639,11	0,743
	Porto Feliz	556,69	52.785	94,82	1.926 mi	36.690,02	0,758
	Salto	133,06	117.561	883,54	6.869 mi	59.118,20	0,780

	São Roque	306,91	89.943	293,06	2.725 mi	30.797,77	0,768
3	Araçoiaba da Serra	255,33	33.499	131,2	668 mi	20.558,05	0,776
	Iperó	170,29	36.280	213,05	564 mi	16.164,47	0,719
	Piedade	746,87	55.149	73,84	1.218 mi	22.104,36	0,716
	Pilar do Sul	681,12	28.963	42,52	641 mi	22.309,48	0,690
	Salto de Pirapora	280,7	44.972	160,22	1.633 mi	36.783,17	0,729
	São Miguel Arcanjo	930,34	32.859	35,32	676 mi	20.551,90	0,710
	Sorocaba	450,38	671.186	1490,26	31.853 mi	48.271,34	0,798
	Tapiraí	755,1	7.850	10,4	146 mi	18.272,43	0,681
	Votorantim	183,52	121.331	661,14	3.002 mi	25.036,13	0,767

Fonte: Emplasa, 2019; IBGE, 2017.

A partir do Quadro 1 foi verificado que na sub-região 1, os municípios que apresentam maior e menor densidade demográfica, respectivamente, são: Cerquilha (376,16 hab./km<sup>2</sup>) e Sarapuí (28,87 hab./km<sup>2</sup>), na sub-região 2, Salto (883,54 hab./km<sup>2</sup>) e Ibiúna (73,97 hab./km<sup>2</sup>), e por fim, na sub-região 3, Sorocaba (1490,26 hab./km<sup>2</sup>) e Tapiraí (10,4 hab./km<sup>2</sup>). Já os municípios mais e menos populosos, respectivamente, na sub-região 1 são, Itapetininga (162.231 hab.) e Jumirim (3.315 hab.), na sub-região 2, Itu (172.268 hab.) e Alumínio (18.484 hab.), e na sub-região 3, Sorocaba (671.186 hab.) e Tapiraí (7.850 hab.).

As cidades que apresentaram os menores valores de IDH foram Tapiraí, Pilar do Sul, Capela do Alto, Araçariçuama, Cesário Lange, Sarapuí, Ibiúna, São Miguel Arcanjo, Alambari e Piedade. Quanto aos melhores valores de IDH, esses são observados nos municípios Sorocaba, Cerquilha, Salto, Boituva, Tietê, Araçoiaba da Serra, Itu, São Roque, Votorantim e Alumínio.

Os dez municípios da RMS que se destacam com os melhores valores de Produto Interno Bruto PIB's são: Sorocaba, Itu, Salto, Itapetininga, Tatuí, Votorantim, Araçariçuama, São Roque, Boituva e Porto Feliz. Desses municípios, 5 referem-se à sub-região 2, 3 referem-se à sub-região 1, e 2 referem-se a sub-região 3. Além disso, Araçariçuama, Salto, Sorocaba, Boituva, Itu e Porto Feliz, apresentam os maiores PIB's *per capita* da RMS, assim como, Alumínio, Tietê, Cerquilha e Salto de Pirapora.

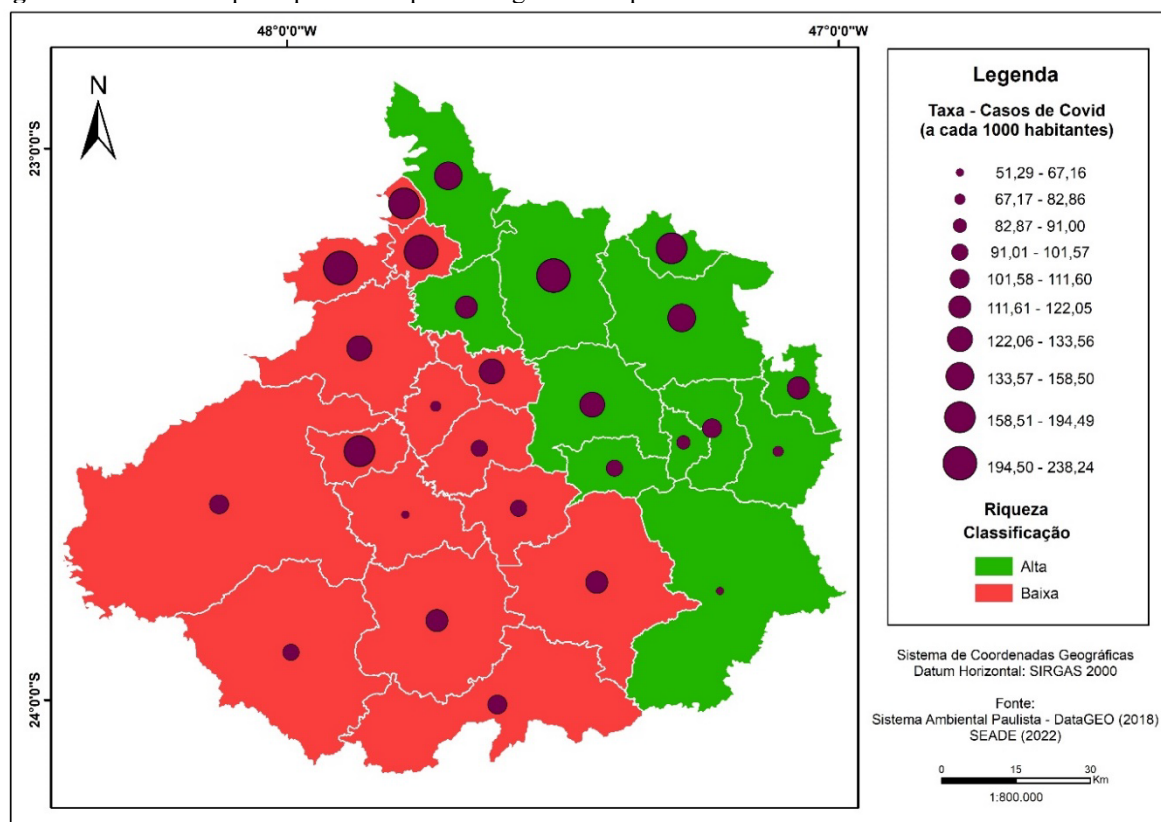
Os municípios com os piores PIB's são: Alambari, Jumirim, Tapiraí, Sarapuí, Capela do Alto, Cesário Lange, Iperó, Pilar do Sul, Araçoiaba da Serra e São Miguel Arcanjo. 50% desses municípios pertencem à sub-região 1, e os demais, à sub-região 3. Entre os municípios

com os piores PIB's *per capita*, encontram-se: Capela do Alto, Sarapuí, Iperó, Alambari, Tapiraí, São Miguel Arcanjo, Araçoiaba da Serra, Ibiúna, Piedade e Pilar do Sul.

Conhecer o PIB e IDH auxilia no entendimento das condições socioeconômicas dos municípios. Segundo o estudo realizado por Belarmino e Vieira (2021) alguns indicadores como o PIB e IDH possuem relevância para compreensão da realidade do município e estes indicadores socioeconômicos expõem as disparidades econômicas e sociais na região.

Estudos realizados por Maciel, Castro-Silva e Farias (2020) confirmaram a associação entre COVID-19 e o desenvolvimento humano. Por essa razão, considerando que indivíduos menos favorecidos economicamente são mais propensos a serem afetados pela maioria dos fatores de riscos associados à COVID-19 (KHALATBARI-SOLTANI et al., 2020), procurou-se avaliar essa relação na RMS, de modo que a Figura 2 apresenta a relação entre a taxa de casos de COVID-19 com o indicador de riqueza.

**Figura 2:** Dados de riqueza por município da Região Metropolitana de Sorocaba e taxas de casos de COVID-19.



Fonte: Autoria própria, 2022.

De acordo com o teste *Kruskal-Wallis* empregado no estudo, foi possível constatar que as classes de riqueza não se diferem em relação à taxa de casos de COVID-19, sendo o  $p$  igual a 0,8836, ou seja, não há uma diferença significativa entre as medianas das classes de riqueza analisadas.

No entanto, analisando espacialmente as duas categorias de riqueza, é possível verificar que a maior concentração de casos está na categoria de riqueza baixa, onde os índices de concentração são maiores comparados com a de categoria alta. Dos 15 municípios classificados com riqueza baixa, 13 apresentam uma taxa de COVID-19 entre 95,83 e 238,24 e 2 municípios uma taxa entre 51,29 e 82,86. Já nos 12 municípios classificados com riqueza alta, 9 deles apresentam taxa entre 101,57 e 221,03 e 3 municípios com taxa entre 67,16 e 91,00.

Verificou-se que dos municípios pertencentes à classe de riqueza alta, 41,67% apresentaram entre 11.667 e 89.646 casos, enquanto 58,33% apresentaram entre 1.682 e 7.009 casos. Em relação aos municípios pertencentes à classe de riqueza baixa, 20% apresentaram casos entre 10.849 e 16.085, enquanto 80% apresentaram casos entre 522 e 6.361. Cabe ressaltar que os 12 municípios classificados como de riqueza alta possuem ao todo 1.491.941 de habitantes, representando 70% do total de habitantes da RMS, o que pode justificar o fato dos maiores índices de ocorrência da COVID-19 nas áreas de riqueza alta ao invés das de riqueza baixa. Mas, ao analisarmos a taxa de casos a cada 1.000 habitantes percebe-se que os municípios de baixa riqueza tem maiores concentrações de taxa se comparado ao de riqueza alta.

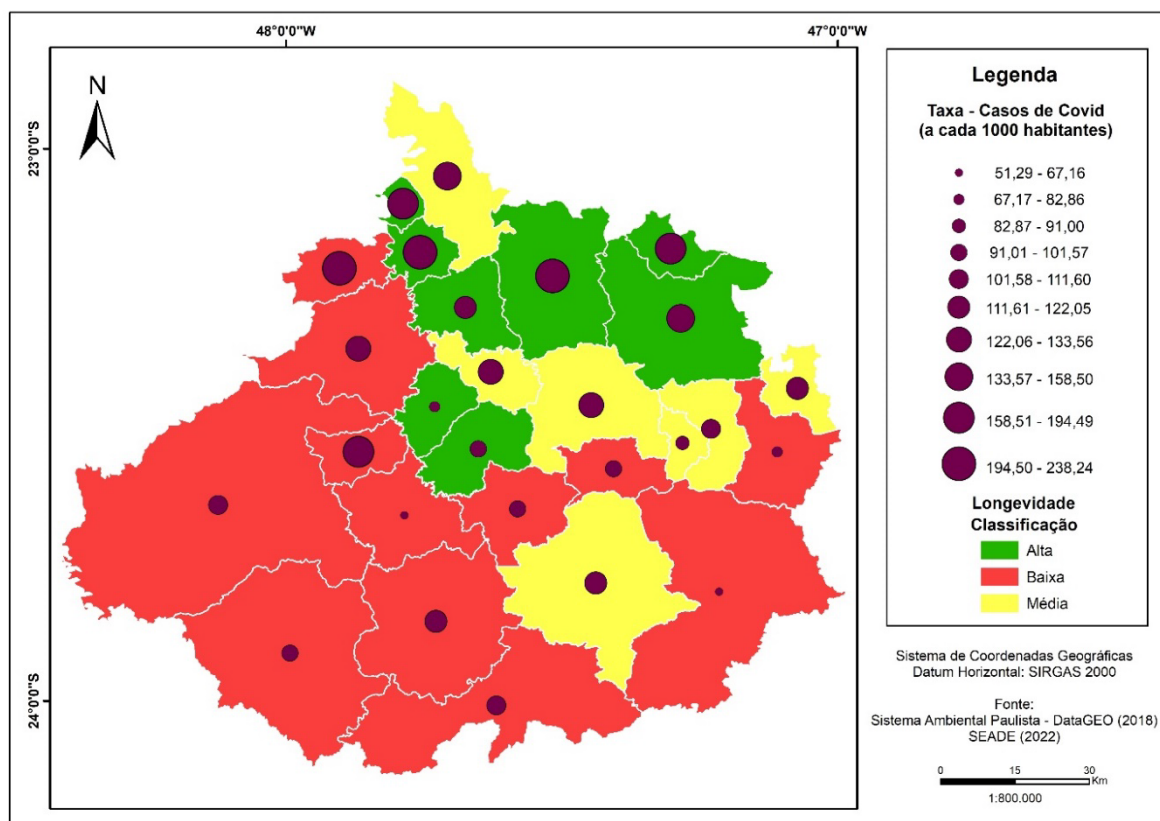
Com base na Figura 2 observa-se que 27 municípios da RMS apenas 12 estão no grupo de alta riqueza e 15 no grupo de baixa riqueza. Dos municípios identificados como de baixa riqueza, todos estão entre os 10 municípios da RMS com os menores valores de PIB e 9 estão entre os municípios com os menores valores de PIB *per capita*. Quanto aos municípios considerados de alta riqueza, apenas 7 estão entre os 10 municípios com os melhores PIB *per capita* da RMS, e 8 cidades estão entre os 10 municípios com os melhores PIB's.

Inicialmente, idosos eram o grupo social mais afetado pela COVID-19, sugerindo que regiões com maiores índices de longevidade e com uma composição social mais velha, viriam a apresentar taxas de contaminação maiores quando comparadas a municípios com menores índices de longevidade. Diante de tal hipótese, o presente estudo procurou avaliar essa relação (Figura 3), de modo que os resultados revelaram que 44,44% dos municípios da RMS apresentaram longevidade baixa, entre eles Alambari, Cesário Lange, Ibiúna, Itapetininga, Tatuí, São Roque, São Miguel Arcanjo, Salto de Pirapora, Sarapuí, Pilar do Sul, Tapiraí e Votorantim.

A longevidade média contemplou 25,93% dos municípios, como Alumínio, Araçariguama, Tietê, Iperó, Sorocaba, Mairinque e Piedade. Já a longevidade alta foi obtida

por 29,63% dos municípios, como Araçoiaba da Serra, Boituva, Capela do Alto, Cerquillo, Jumirim, Itu, Salto e Porto Feliz. Ao aplicar o teste de *Kruskal-Wallis* para as classes de longevidade em relação à taxa de casos de COVID-19, obteve um  $p$  igual a 0,2289, ou seja, não há uma diferença significativa entre as medianas das classes de longevidade. As classes foram submetidas ao teste *Dunn's post hoc* com valor de  $p$  corrigido de Bonferroni, mas não obtiveram diferença significativa.


**Figura 3:** Dados de longevidade por município da Região Metropolitana de Sorocaba e taxas de casos de COVID-19.



**Fonte:** Autoria própria, 2022.

Entretanto, analisando as informações espacialmente, verifica-se que a categoria de longevidade que obteve a maior taxa de casos de COVID-19 foi a de alta longevidade, com o município de Cerquillo apresentando uma taxa de 225,67, seguido por Porto Feliz, com 221,03, Jumirim, com 187,03, Salto (180,20), Itu (151,57), Boituva (117,22), enquanto Araçoiaba da Serra e Capela do Alto apresentaram as menores taxas da categoria, com 97,38 e 82,86 respectivamente.

Os municípios contidos nas classes de longevidade média abrangeram os municípios de Tietê, com a maior taxa de casos (158,50), Sorocaba (133,56), Iperó (129,66), Araçariguama (119,34), Piedade, com 115,34 e Mairinque, que apresentou uma taxa de 108,02, enquanto o



município de Alumínio teve a menor taxa da categoria com 91,00. Dentre os municípios da longevidade baixa com maiores taxa de casos destacam-se Cesário Lange, com uma taxa de 238,24, Alambari, com 194,49, Tatuí (133,45), Pilar do Sul (122,05), Itapetininga (111,60), Tapiraí (110,06), Votorantim com (101,57), Salto de Pirapora, com 98,33 e São Miguel Arcaño, com 95,83, enquanto as menores taxas foram encontradas para os municípios de São Roque (79,07), Ibiúna (67,16) e Sarapuí, com 51,29. Os doze municípios inseridos na categoria de longevidade baixa totalizaram 76.793 casos e 2.378 óbitos.

Apesar do município de Cesário Lange ter tido a maior taxa de COVID-19 entre todos os municípios da RMS e pertencer à categoria de baixa longevidade, ao analisarmos as taxas das categorias, percebe-se que de modo geral os municípios que possuem as maiores concentrações pertencem a categoria de alta longevidade.

A partir do indicador de longevidade foi possível constatar que as classes de longevidade influenciaram na quantidade de casos e óbitos, sendo que os municípios classificados com longevidade alta totalizaram 82.394 casos e 1.752 óbitos, os municípios de longevidade média totalizaram 116.659 casos e 3.678 óbitos, enquanto a longevidade baixa totalizou 76.793 casos e 2.378 óbitos.

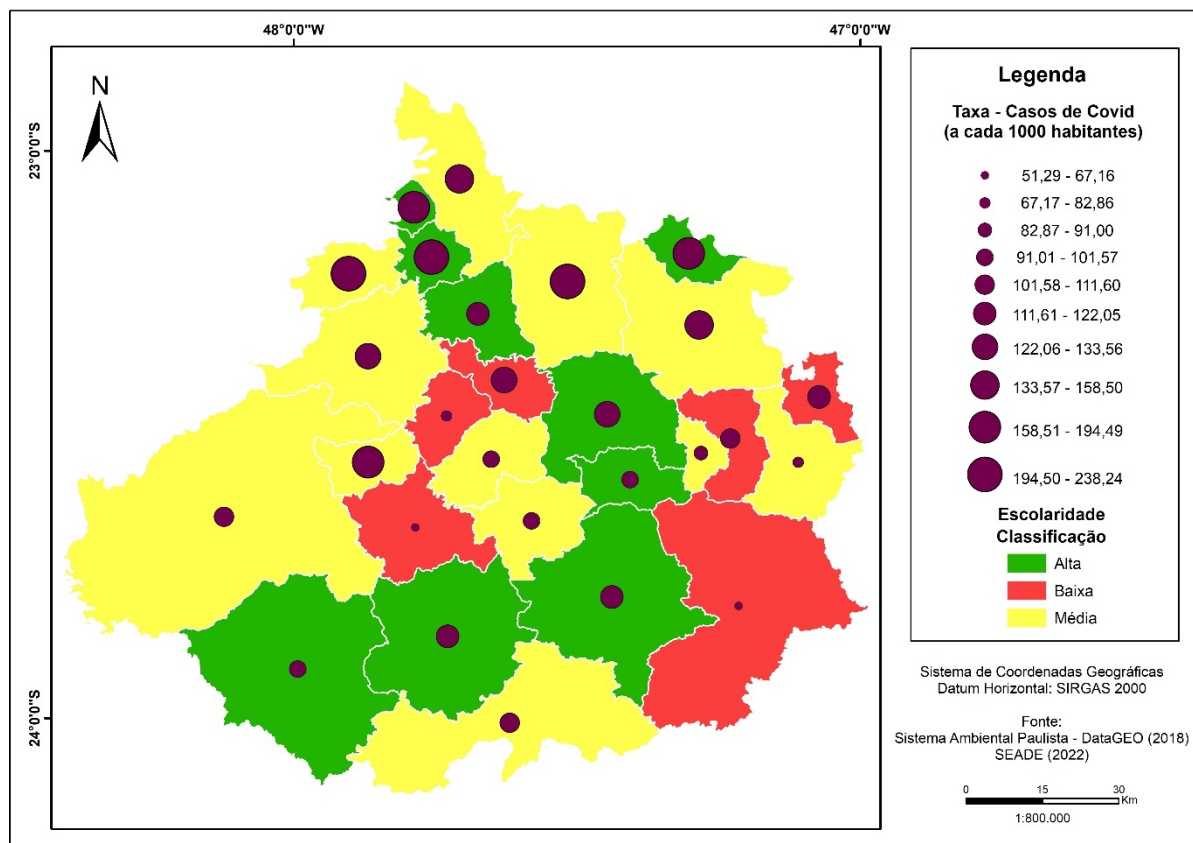
Considerando que perfil da pandemia no Brasil apresenta características diferentes de outros países, onde adultos antes dos 60 já apresentam comorbidades que os colocam no grupo de alto risco (KALACHE et al., 2020) e que Sorocaba é o município que possui maior densidade demográfica e número de habitantes da RMS, é possível relacionar esses dados com o fato de Sorocaba apresentar o maior número de casos, mesmo não estando entre os municípios com maior longevidade.

O terceiro e último indicador socioeconômico utilizado nesse estudo, para obter a relação espacial com a taxa de casos de COVID-19, é o indicador de escolaridade, que é classificado em alta, média e baixa escolaridade (Figura 4). Ao aplicar o teste de *Kruskal-Willis* obteve-se um valor de  $p$  igual a 0,1154, não obtendo diferença significativa entre as medianas das classes de escolaridade. As classes foram submetidas ao teste *Dunn's post hoc* com valor de  $p$  corrigido de Bonferroni, mas não obtiveram diferença significativa.

Contudo, através da análise espacial constatou-se que as classes de escolaridade alta e média obtiveram as maiores taxas de casos, juntas essas classes computam 77,8% dos municípios da RMS. Dessa forma, foi possível verificar que a classe que apresentou os menores

valores de casos foi a de escolaridade baixa, revelando que tal indicador não reflete na disseminação da doença na RMS.

**Figura 4:** Dados de escolaridade por município da Região Metropolitana de Sorocaba e taxas de casos de COVID-19.




**Fonte:** Autoria própria, 2022.

Cabe destacar que a classe de escolaridade alta apresenta um total de 1138.231 habitantes, entre os municípios contidos nessa categoria, enquanto a classe média possui um total de 768.020 habitantes e a classe baixa 213.844. Nesse caso, pressupõe-se que a população ou mesmo a densidade demográfica pode ter influenciado de forma mais significativa de casos dos municípios da RMS.

A diversidade da gravidade da COVID-19 também foi observada nos 39 municípios da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). A disseminação do vírus na RMSP se deu principalmente por causa da capital paulista, que é a cidade mais populosa do Brasil (BÓGUS et al., 2020; OBSERVATÓRIO DE SAÚDE DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO, 2020). A RMSP é o principal centro econômico do país, refletindo diretamente no grande número de pessoas chegando e saindo da região, seja para trabalho, viagens ou lazer (BÓGUS et al., 2020; OBSERVATÓRIO DE SAÚDE DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO, 2020).





No Estado do Paraná, efeito semelhante também foi constatado, de forma que se observou maiores índices de casos na região Norte Central do Estado e em alguns outros municípios mais populosos do interior, sendo o aglomerado metropolitano considerado um dos grandes motivos no aumento dos números de casos, seja nos bairros ou nos municípios e, também, a aglomeração nos transportes públicos (INCT, 2020).

A pandemia colocou as metrópoles em alerta, por apresentarem altas densidades populacionais, facilitando a propagação da COVID-19 (MACIEL; CASTRO-SILVA; FARIAS, 2020). Maciel, Castro-Silve e Farias (2020) afirmam, ao avaliar a propagação do coronavírus na região metropolitana de Fortaleza, que o fato do município ser gerador de renda e possuir grande densidade demográfica, pode favorecer a circulação do vírus da COVID-19.

Verificamos que municípios que possuem os piores valores de IDH no Estado de São Paulo também apresentam índice de escolaridade baixo, os piores índices de riqueza e longevidade, sugerindo a adoção de políticas públicas voltadas ao atendimento de grupos vulneráveis a fim de promover melhores condições de vida e saúde, mesmo que a taxa de casos de COVID-19 seja menor em virtude do menor número de habitantes, uma vez que ao fornecer melhores condições de qualidade de vida e informação à população, se aumenta o controle sobre a saúde pública, entendendo que aspectos sociais influenciam o comportamento epidemiológico de determinada doença e o bem-estar geral da sociedade.

A magnitude das desigualdades sociais em saúde e os recursos escassos impõem que as prioridades para a gestão pública se fundamentem no conhecimento da situação de saúde e do impacto de políticas, programas, projetos e ações sobre a saúde e seus determinantes (DRACHLER et al., 2003).

## CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos neste estudo podemos concluir que o indicador de longevidade alta apresentou maiores taxas de COVID-19, apesar da longevidade média ter maior número de casos, justificado pelo fato de Sorocaba se enquadrar nessa realidade e ser o município da RMS com a maior população e conseqüentemente ter o maior número de casos de toda a RMS.

Quanto ao índice de riqueza, constatou-se que as maiores taxas de COVID-19 ocorreram nos municípios classificados como riqueza baixa. Levando em conta a variável escolaridade, a variável foi influenciada pela densidade demográfica de cada um dos municípios da RMS.

Todavia, verificou-se que as cidades caracterizadas com escolaridade alta e média apresentaram as maiores taxas de COVID-19.

Entre os municípios da RMS, Sorocaba foi a cidade com maior número de casos e óbitos, mesmo apresentando bons indicadores de PIB *per capita*, IDH, longevidade, escolaridade e riqueza, demonstrando, nesse caso, uma relação entre a densidade populacional com a incidência da COVID-19.

Para um entendimento mais aprofundado, sugere-se a ampliação da amostragem de casos de COVID-19 para outras regiões metropolitanas, para que seja possível realizar uma comparação e, a partir dos dados, analisar se os resultados são similares com o da RMS. É recomendado que sejam acrescentados outros tipos de indicadores, possibilitando observar como esses dados se comportam e no que se difere desta pesquisa apresentada.

## REFERÊNCIAS

ALVES, H. P. F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 23, n. 1, p. 43-59, 2006. doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-30982006000100004>.

BELARMINO, O. M.; VIEIRA, R. M. O desenvolvimento nos territórios de fronteira: Análise dos indicadores socioeconômicos da região de planejamento Sul fronteira/MS. **Revista Desenvolvimento Socioeconômico em Debate**, v. 7, n. 1, p. 89-103, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.18616/rdsd.v7i1.6089>

BÓGUS, L.; PASTERNAK, S.; MAGALHÃES, L. F. A.; SILVA, C. R. Desigualdades e Espacialidades da COVID-19 no Estado de São Paulo. In: BÓGUS, L. M. M.; PASTERNAK, S.; D'OTTAVIANO, C.; BARBON, A. L.; BORIN, M. E. S.; MAGALHÃES, L. F. A. et al. **As Metrôpoles e a COVID-19 Dossiê Nacional: A pandemia da COVID-19 no município e na Região Metropolitana de São Paulo: desigualdades socioespaciais, vulnerabilidades e padrão de disseminação na Macrometrópole Paulista**. Observatório das Metrôpoles, São Paulo: Instituto Nacional da Ciência e Tecnologia, 2020, p. 2-19.

CARLOS, W. G.; CRUZ, C. S. D.; CAO, B.; PASNICK, S.; JAMIL, S. COVID-19 disease due to SARS-CoV-2 (Novel Coronavirus). **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 201, n. 4, p. 7-8, 2020. doi: <https://doi.org/10.1164/rccm.2014P7>.

COLLINS, C.; MAHURON, K.; BONGIOVANNI, T.; LANCASTER, E.; SOSA, J. A.; WICK, E. Stress and the surgical resident in the COVID-19 pandemic. **Journal of surgical education**, 78(2), 422-430, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2020.07.031>

DRACHLER, M. D. L.; CÔRTEZ, S. M. V.; CASTRO, J. D. D.; LEITE, J. C. D. C. Proposta de metodologia para selecionar indicadores de desigualdade em saúde visando definir

prioridades de políticas públicas no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 8, p. 461-470, 2003. doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232003000200011>

EMPLASA. Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A. **Região Metropolitana de Sorocaba - 2019**. Disponível em: <<https://emplasa.sp.gov.br/RMS>>. Acesso em: 07 maio 2020.

ESTRELA, F. M.; SOARES, C. F. S.; CRUZ, M. A.; SILVA, A. F.; SANTOS, J. R. L.; MOREIRA, T. M. O.; LIMA, A. B.; SILVA, M. G. Pandemia da Covid 19: refletindo as vulnerabilidades a luz do gênero, raça e classe. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, n. 9, p. 3431-3436, 2020. doi: <https://doi.org/10.1590/1413-81232020259.14052020>.

FERREIRA, R.V.; MARTINES, M. R.; TOPPA, R. H.; ASSUNÇÃO, L. M.; DESJARDINS, M. R.; DELMELLE, E. M. Applying a Prospective Space-Time Scan I Statistic to Examine the Evolution of COVID-19 Clusters in the State of São Paulo, Brazil. **medRxiv preprint**, 2020. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.06.04.20122770>.

FLAUZINO, R. F.; SOUZA-SANTOS, R.; OLIVEIRA, R. M. Dengue, geoprocessamento e indicadores socioeconômicos e ambientais: um estudo de revisão. **Revista Panamericana de Salud Publica**, v. 25, n. 5, p. 456-461, 2009.

GOLD, J. A.; WONG, K. K.; SZABLEWSKI, C. M.; PATEL, P. R.; ROSSOW, J.; SILVA, J. et al. Characteristics and clinical outcomes of adult patients hospitalized with COVID-19—Georgia, March 2020. **Morbidity and Mortality Weekly Report**, v. 69, n. 18, p. 545-550, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6918e1>

HE, F.; DENG, Y.; LI, W. Coronavirus disease 2019: What we know?. **Journal of Medical Virology**, v. 92, n. 7, p. 719–725, 2020. doi: <https://doi.org/10.1002/jmv.25766>.

INCT. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia. **A evolução tardia da COVID-19 na Região Metropolitana de Curitiba**. Disponível em: <<https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/a-evolucao-tardia-da-COVID-19-na-regiao-metropolitana-de-curitiba/>>. Acesso em: 15 de out. de 2020.

KALACHE, A.; SILVA, A.; GIACOMIN, K. C.; LIMA, K. C.; RAMOS, L. R.; LOUVISON, M. et al. Aging and inequalities: social protection policies for older adults resulting from the Covid-19 pandemic in Brazil. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**, v. 23, n. 6, p. e200122, 2020. doi: <https://doi.org/10.1590/1981-22562020023.200122>.

KHALATBARI-SOLTANI, S.; CUMMING, R. C.; DELPIERRE, C.; KELLY-IRVING, M. Importance of collecting data on socioeconomic determinants from the early stage of the COVID-19 outbreak onwards. **Journal of Epidemiology and Community Health**, v. 74, p. 620-623, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1136/jech-2020-214297>.

LANA, R. M.; FREITAS, L. P.; CODEÇO, C. T.; PACHECO, A. G.; CARVALHO, L. M. F.; VILLELA, D. A. M.; COELHO, F. C.; CRUZ, O. G.; NIQUINI, R. P.; PORTO, V. B. G.; GAVA, C.; GOMES, M. F. C.; BASTOS, L. S. Identificação de grupos prioritários para a vacinação contra COVID-19 no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 37, n. 10, p. e00049821, 2021. doi: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00049821>

MACIEL, J. A. C.; CASTRO-SILVA, I. I.; FARIAS, M. R. Análise inicial da correlação espacial entre a incidência de COVID-19 e o desenvolvimento humano nos municípios do

estado do Ceará no Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 23, p. E200057, 2020. doi: <https://doi.org/10.1590/1980-549720200057>.

MENDONÇA, F. D.; ROCHA, S. S.; PINHEIRO, D. L. P.; DE OLIVEIRA, S. V. Região Norte do Brasil e a pandemia de COVID-19: análise socioeconômica e epidemiológica. **Journal Health Npeps**, v. 5, n. 1, p. 20-37, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.30681/252610104535>

MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL. **Sobre a doença – COVID-19**. Disponível em: <https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca#o-que-e-COVID>>. Acesso em: 05 de mai. de 2020.

OBSERVATÓRIO DE SAÚDE DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO (RMSP). **COVID-19 na Região Metropolitana de São Paulo**. Disponível em: <http://www.fsp.usp.br/observasaude/?p=2073>>. Acesso em: 28 de out. de 2020.

RIBEIRO, M. L.; PAIXÃO, A. N. Análise da desigualdade socioeconômica sobre os casos de covid-19 no Tocantins. **Revista Brasileira de Tecnologias Sociais**, v. 8, n. 1, p. 51-61, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.14210/rbts.v8n1.p%p>

SÃO PAULO (Estado). **Novo Coronavírus (COVID-19)**. Disponível em: [http://www.saude.sp.gov.br/resources/cve-centro-de-vigilancia-epidemiologica/areas-de-vigilancia/doencas-de-transmissao-respiratoria/coronavirus/coronavirus210420\\_55situacao\\_epidemiologica.pdf](http://www.saude.sp.gov.br/resources/cve-centro-de-vigilancia-epidemiologica/areas-de-vigilancia/doencas-de-transmissao-respiratoria/coronavirus/coronavirus210420_55situacao_epidemiologica.pdf)>. Acesso em: 05 de mai. de 2020.

SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Índice Paulista de Responsabilidade Social – 2018**. Disponível em: <http://ipvs.seade.gov.br/view/index.php>>. Acesso em: 06 de out. de 2021.


SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **SP contra o novo Coronavírus – Boletim Completo**. Disponível em: <https://www.seade.gov.br/coronavirus/>>. Acesso em: 18 de mar. de 2022.

SENHORAS, E. M. Coronavírus e educação: Análise dos impactos assimétricos. **Revista UFRR (BOCA)**, v. 2, n.º 5, ano II, p. 1-11, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.3828085>.

SILVA, D. C. C.; LOURENÇO, R. W.; CORDEIRO, R. C.; CORDEIRO, M. R. D. Análise da relação entre a distribuição espacial das morbidades por obesidade e hipertensão arterial para o estado de São Paulo, Brasil, de 2000 a 2010. **Revista Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 6, p. 1709-1719, 2014. doi: <https://doi.org/10.1590/1413-81232014196.15002013>.

SOUZA, C. D. F.; MACHADO, M. F.; CARMO, R. F. Human development, social vulnerability and COVID-19 in Brazil: a study of the social determinants of health. **Infectious Diseases of Poverty**, v. 9, n. 124, p. 1-10, 2020. doi: <https://doi.org/10.1186/s40249-020-00743-x>.

URBAN, R. C.; NAKADA, L. Y. K. COVID-19 pandemic: Solid waste and environmental impacts in Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 755, n.1, p. 142471, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142471>.



ZAMBRANO-MONSERRATE, M. A.; RUANO, M. A; SANCHEZ-ALCALDE, L. Indirect effects of COVID-19 on the environment. **Science of the Total Environment**, v. 728, p.138813, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138813>.

# CAPÍTULO 25

## AVALIAÇÃO DO EFEITO DOS PARÂMETROS POTENCIAL E pH NA DEPOSIÇÃO ELETROFORÉTICA DO REVESTIMENTO COMPÓSITO DE QUITOSANA-TUNGSTÊNIO<sup>10</sup>

**José Anderson Machado Oliveira**  
**Gracimário Bezerra da Silva**  
**Danilo Lima Dantas**  
**Alison Silva Oliveira**  
**Antonio Daniel Buriti de Macedo**  
**Renato Alexandre Costa de Santana**

### RESUMO

A quitosana é um polissacarídeo natural obtido por desacetilação alcalina da quitina. Revestimentos a base de quitosana possuem diversas aplicações em setores tecnológicos e industriais. Neste trabalho foi investigado o efeito das variáveis potencial e pH da suspensão eletrolítica no processo de deposição eletroforética de um novo revestimento composto de quitosana-tungstênio. Os revestimentos obtidos foram caracterizados por MEV/EDS, DRX e Polarização Potenciodinâmica. Foram obtidos com sucesso revestimentos compostos formados por uma matriz de quitosana impregnada com tungstênio. Os resultados de resistência à corrosão mostraram que o revestimento composto de quitosana-tungstênio pode ser aplicado na proteção temporária do aço 1020 em meio corrosivo de NaCl (3,5%).

**PALAVRAS CHAVE:** Deposição Eletroforética; Quitosana; Tungstênio, Corrosão.

### INTRODUÇÃO

A quitosana é um polissacarídeo natural obtida por uma reação de desacetilação alcalina da quitina, que pode ser encontrada em fontes naturais como conchas de crustáceos, paredes celulares de fungos e cutículas de insetos (HEISE et al., 2017; ZHAO et al., 2018). É constituída por monômeros de glucosamina (monômero desacetilado) e N-acetil-glucosamina (monômero acetilado) ligados através de ligações  $\beta$ -4 glicosídicas (KHALILI et al., 2017; ZHAO et al., 2018). Portanto, devido as suas propriedades de biocompatibilidade, biodegradabilidade, atividade antibacteriana, baixa toxicidade, boa capacidade de formação de filme, resposta ao pH, entre outras, revestimentos a base de quitosana podem ser aplicados em diferentes setores como, por exemplo, na produção de materiais biomédicos, biosensores, na indústria alimentícia, na

---

<sup>10</sup> O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

indústria têxtil e de cosméticos (GEBHARDT et al., 2012; EL-HADDAD, 2013; CLAVIJO et al., 2016).

A técnica de deposição eletroforética possui atrativos interessantes como, por exemplo, baixo custo operacional, controle adequado dos parâmetros para obtenção de filmes com propriedades controladas, deposição em substratos com geometrias complexas, obtenção de filmes a temperatura ambiente, entre outros (SONG et al., 2016; HEISE et al., 2017, 2018; RADD'A et al., 2017; REHMAN et al., 2019). Desta forma, a deposição eletroforética é uma das principais técnicas utilizadas na obtenção de revestimentos compósitos (MAHMOODI et al., 2013; FARROKHI-RAD et al., 2017).

A utilização de inibidores de corrosão na proteção de materiais metálicos expostos a ambientes agressivos é uma prática comum em diversos setores industriais (CARNEIRO et al., 2013; HASSANNEJAD et al., 2017; FAYOMI et al., 2018). Os inibidores anódicos, que atuam na inibição das reações anódicas, são utilizados com a finalidade de produzir uma camada de passivação no material a ser protegido. Entre os mais utilizados, destaca-se o cromato ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ) devido a suas excelentes propriedades de proteção contra corrosão, além da extensa aplicabilidade para diferentes metais e ligas a base de ferro. Por semelhança estrutural e eletrônica outros íons como, por exemplo, Tungstato ( $\text{WO}_4^{2-}$ ) e Molibdato ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ) também são bastante utilizados para proteção anódica de materiais metálicos (GENTIL, 2011).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi investigar os parâmetros de deposição (potencial e pH) utilizando um planejamento experimental completo associado a técnica de metodologia de superfície de resposta, para a obtenção de um novo revestimento compósito de quitosana-tungstênio (Quit-W) por deposição eletroforética. Os filmes obtidos foram caracterizados por microscopia eletrônica de varredura (MEV/EDS), difração de raios-X (DRX) e ensaios eletroquímicos de corrosão (polarização potenciodinâmica).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Reagentes utilizados

Quitosana (aproximadamente 85% desacetilado), ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e hidróxido do sódio ( $\text{NaOH}$ ), foram utilizados para preparação da suspensão eletrolítica (Tabela 1). Os reagentes foram dissolvidos em água destilada e deionizada.

**Tabela 1:** Reagentes e concentrações utilizados neste trabalho.

Reagentes	Concentração	Função
Quitosana	0,5 (g/L)	Fonte de Quitosana
CH <sub>3</sub> COOH	1 % (v/v)	Dissolver a Quitosana
Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	1 (mM)	Fonte de Tungstênio
NaOH	1 (M)	Ajuste do pH

Fonte: Autoria própria, 2021.

A quitosana foi dissolvida em uma solução aquosa de ácido acético (1% v/v) sob agitação magnética por 24 horas a temperatura ambiente (SIMCHI, et al., 2009). À solução de quitosana previamente preparada foi adicionado o tungstato de sódio (1 mM) sob agitação magnética por 1 hora para alcançar uma suspensão homogênea.

### Deposição eletroforética

O controle do potencial foi feito por um potenciostato/galvanostato (modelo PG STATE 30 da AUTOLAB). Como cátodo foram utilizadas chapas de aço carbono 1020 (15 mm x 30 mm x 1 mm) e como ânodo duas chapas de aço inox 316L (20 mm x 50 mm x 1mm). Os eletrodos foram mantidos a 15 mm de distância. Antes do processo de deposição os eletrodos de trabalho foram polidos mecanicamente com lixas abrasivas de SiC com malha de 300 a 1200 e lavados com etanol, acetona e água destilada. Os experimentos foram conduzidos à temperatura ambiente utilizando um tempo fixo de 10 minutos de deposição. Após a deposição os eletrodos foram retirados da solução eletrolítica e secos sob fluxo de ar quente (temperatura inferior a 50 °C) e armazenados em dissecador sob temperatura ambiente por 24 horas.

### Planejamento experimental

Na realização dos experimentos foi utilizando um planejamento fatorial completo 2<sup>2</sup>, com dois pontos centrais (PC). Para avaliar e otimizar os parâmetros de deposição (potencial e pH) foi utilizada a técnica de metodologia de superfície de resposta (MSR). Os experimentos foram realizados em triplicata e em ordem aleatória para evitar erros sistemáticos. As variáveis foram codificadas nos níveis baixo (-1), central (0) e alto (+1). A Tabela 2 apresenta as condições de deposição avaliadas no planejamento experimental, determinadas de acordo com a literatura e com os resultados dos testes preliminares (SIMCHI et al., 2009; DEV; THINAKARAN; NEELAKANDAN, 2015; REHMAN et al., 2019).



**Tabela 2:** Níveis reais e codificados dos fatores avaliados no planejamento experimental 2<sup>2</sup>.

Fatores	Níveis codificados		
	-1	0	1
	Níveis reais		
Potencial (V)	5	7,5	10
pH	3,5	4,5	5,5

Fonte: A autoria própria, 2021.

### Morfologia dos revestimentos

A morfologia superficial dos revestimentos compósitos foi avaliada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) utilizando um microscópio eletrônico da TESCAN (modelo VEGA 3SBH) com Detector de EDS a seco da Oxford (modelo X-ACT IE150).

### Determinação da microestrutura

A caracterização da microestrutura física dos revestimentos compósitos foi realizada por Difração de Raios-X (DRX), utilizando um difratômetro da SHIMADZU (modelo XRD-6100), com radiação Cu K $\alpha$  ( $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$ ) a 30 KV e 30 mA.

### Ensaio de corrosão

A técnica de Polarização Potenciodinâmica (PP) foi utilizada para avaliar o comportamento corrosivo dos revestimentos obtidos, utilizando um potenciostato/galvanostato (modelo PG STATE 30 da AUTOLAB). Os testes de corrosão foram realizados numa célula convencional composta pelo eletrodo de trabalho (aço 1020) revestido com o filme compósito obtido apresentando uma área superficial exposta para realização do teste de  $0,76 \text{ cm}^2$ , um eletrodo auxiliar de platina e como referência foi utilizado um eletrodo de calomelano saturado (ECS). A faixa de varredura para obtenção das curvas de PP foi de  $\pm 0,3 \text{ V vs ECS}$ , a partir do potencial de circuito aberto ( $E_{PCA}$ ) a uma velocidade de  $1 \text{ mV/s}$ . O meio corrosivo utilizado nos testes de corrosão foi o NaCl (3,5% m/v), com o intuito de simular um ambiente marinho, para uma aplicação em setores industriais, a temperatura ambiente ( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

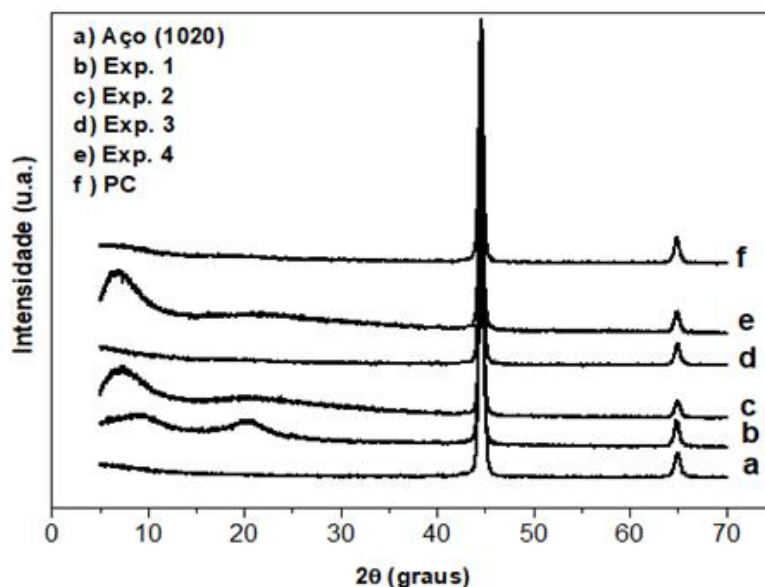
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quitosana torna-se um polieletrólito catiônico em meio ácido ( $\text{pH} < 6,5$ ) por meio da protonação de seus grupos amina (LIU et al., 2013; WANG et al., 2014). Dessa forma, revestimentos de quitosana pura ou na forma de materiais compósitos podem ser obtidos pela técnica de deposição eletroforética (SIMCHI et al., 2009; RADDAHA et al., 2014; MOLAEI; YARI; AFSHAR, 2015).

O mecanismo mais aceito para explicar a formação de filmes de quitosana baseia-se no processo de neutralização dos grupos amino, carregados positivamente, por íons hidróxido gerados na superfície do cátodo através da redução da água durante o processo de deposição. Portanto, as macromoléculas de quitosana suspensas no eletrólito (quando carregadas positivamente) movem-se para a superfície do cátodo, eletrodo carregado negativamente, por atração eletrostática (movimentação eletroforética) onde depositam-se na superfície na forma de um filme insolúvel (ORDIKHANI; TAMJID; SIMCHI, 2014; RADDAHA et al., 2014).

Os resultados de DRX são apresentados na Figura 1. Os parâmetros de difração do experimento 1 mostram sinais característicos da quitosana semicristalina em  $2\theta = 9-10^\circ$  e  $2\theta = 19-20^\circ$  (DING et al., 2013; CUI et al., 2018; TABESH et al., 2019). Já os experimentos 2 e 4 apresentam apenas o pico em aproximadamente  $2\theta = 9-10^\circ$ . Esses resultados comprovam a deposição do filme de quitosana sobre o substrato de aço inox. Nos experimentos 3 e ponto central aparecem apenas os picos referentes ao substrato (aço 1020) em aproximadamente  $2\theta = 45$  e  $2\theta = 65^\circ$ . A ausência de picos de quitosana nesses experimentos pode ser explicada por uma espessura de camada muito fina nos revestimentos, além da interação com o tungstênio na formação do filme compósito (PANG; ZHITOMIRSKY, 2008; WANG et al., 2014). O alargamento dos picos de difração indica uma diminuição na cristalinidade dos filmes de quitosana (CUI et al., 2018). A ausência de picos referentes ao tungstênio pode ser explicada pela pequena quantidade de sal utilizada no preparo da suspensão estável para o processo de deposição (Tab. 1).

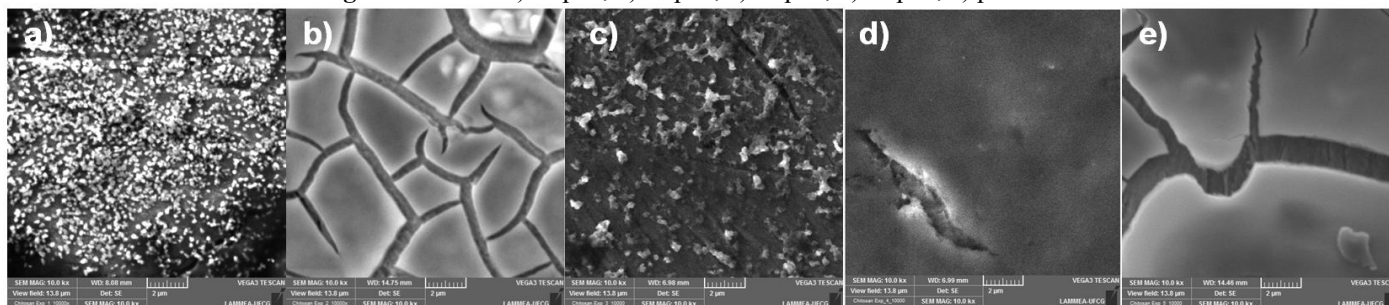
**Figura 1:** Parâmetros de DRX dos revestimentos compostos de Quit-W.



Fonte: Autoria própria, 2021.

A Figura 2 mostra as imagens de MEV dos revestimentos compostos de Quit-W. Observam-se diferentes morfologias superficiais para cada revestimento. O experimento 1 apresentou a formação de partículas aglomeradas distribuídas de forma homogênea na superfície. É possível notar microfissuras nos experimentos 2 e ponto central. O experimento 3 apresentou pequenos aglomerados espalhados de forma heterogênea na superfície. Já o experimento 4 apresenta uma superfície lisa e homogênea com pequenas deformidades. Estas características superficiais podem influenciar nos resultados de resistência à corrosão (Tabela 3). Desta forma, nota-se a influência das condições operacionais utilizadas no processo de formação dos revestimentos. A evolução de hidrogênio na superfície do cátodo durante o processo de deposição pode explicar a formação de defeitos na estrutura do revestimento (GEBHARDT et al., 2012; SORKHI; FARROKHI-RAD; SHAHRABI, 2014; REHMAN et al., 2019).

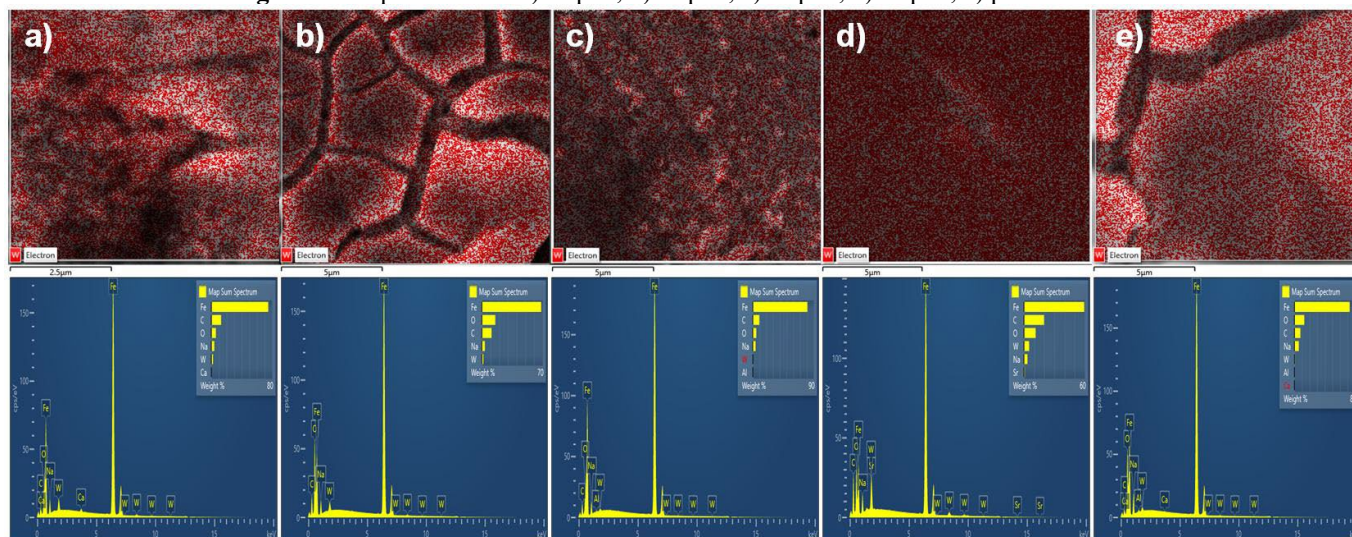
**Figura 2:** MEV: a) Exp. 1, b) Exp. 2, c) Exp. 3, d) Exp. 4, e) ponto central.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Para confirmar a presença de tungstênio nos revestimentos compósitos foram obtidos mapas de EDS da superfície e análises de composição química (Figuras 3). Observa-se uma distribuição homogênea de tungstênio na superfície de todos os revestimentos compósitos (mapas de EDS). Estes resultados comprovam a deposição de tungstênio em uma matriz de quitosana através do processo de deposição eletroforética.

**Figura 3:** Mapas de EDS: a) Exp. 1, b) Exp. 2, c) Exp. 3, d) Exp. 4, e) ponto central.

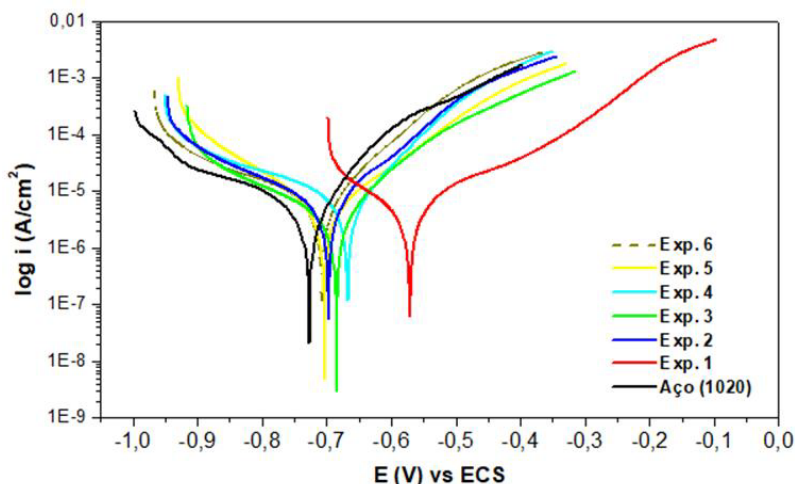


Fonte: Autoria própria, 2021.

A capacidade que os grupos amina e hidróxido, presentes na cadeia polimérica da quitosana, têm em formar ligações de hidrogênio com outras moléculas ou pela formação de complexos (quelação) com íons metálicos, pode explicar a formação de revestimentos compósitos de quitosana. Além disso, devido a carga adquirida pelas moléculas de quitosana em soluções ácidas ( $\text{pH} < 6,5$ ) interações eletrostáticas entre o polieletrólito catiônico e espécies carregadas negativamente também são possíveis (LI et al., 2010; HASSAN; SUZUKI; ELMONEIM, 2014; FARROKHI-RAD et al., 2017). Portanto, os mecanismos de atração eletrostática entre as moléculas de quitosana carregadas positivamente e os íons tungstato ( $\text{WO}_4^{2-}$ ) carregados negativamente, além da capacidade da quitosana de formar complexos com íons metálicos, podem explicar a formação do filme compósito estudado neste trabalho.

A Figura 4 apresenta os resultados de corrosão obtidos pela técnica de polarização potenciodinâmica (PP).

**Figura 4:** Curvas de polarização potenciodinâmica dos revestimentos compósitos de Quit-W.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Os resultados de potencial de corrosão ( $E_{corr}$ ), resistência à polarização ( $R_p$ ) e densidade de corrente de corrosão ( $i_{corr}$ ) são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3:** Matriz do planejamento fatorial  $2^2$  e resultados eletroquímicos de corrosão obtidos por polarização potenciodinâmica dos revestimentos de Quit-W.

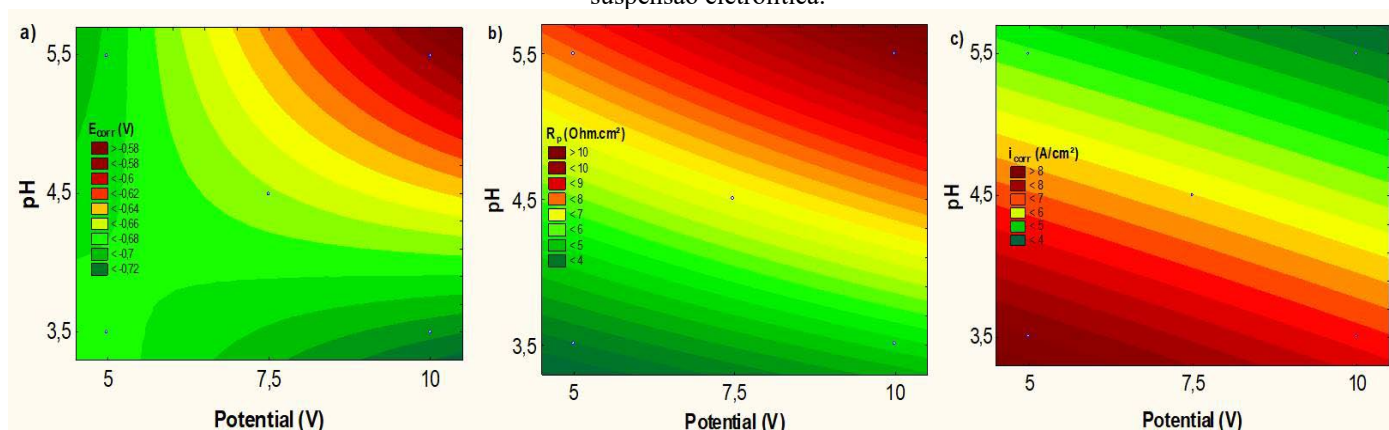
Exp.	Potencial (V)	pH	$E_{corr}$ (V)	$R_p$ ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	$i_{corr}$ ( $\text{A}/\text{cm}^2$ )
1	+1 (10)	+1 (5,5)	-0,57	10,72	3,79
2	+1 (10)	-1 (3,5)	-0,70	5,72	6,61
3	-1 (5)	+1 (5,5)	-0,68	8,55	4,78
4	-1 (5)	-1 (3,5)	-0,67	4,57	7,74
5 (PC)	0 (7,5)	0 (4,5)	-0,70	6,53	5,78
6 (PC)	0 (7,5)	0 (4,5)	-0,71	4,56	8,90
Aço (1020)	—	—	-0,73	3,93	7,22

Fonte: Autoria própria, 2021.

Observa-se nas curvas de PP um deslocamento do potencial de corrosão para valores mais nobres em todos os experimentos em relação ao aço 1020 sem revestimento. Nota-se, também, que os revestimentos compósitos apresentaram maiores valores de resistência à polarização em relação ao aço, com destaque para o experimento 1 que apresentou um valor de  $R_p$  mais de duas vezes maior que a do aço 1020. Porém, nota-se que os resultados de densidade de corrente de corrosão mostraram valores semelhantes entre os revestimentos compósitos e o aço sem revestimento. Portanto, os revestimentos de Quit-W aqui estudados podem ser aplicados na proteção temporária do aço 1020 quando exposto a meios corrosivos semelhantes a ambientes marinhos (NaCl a 3,5%).

Os resultados de corrosão ( $E_{corr}$ ,  $R_p$  e  $i_{corr}$ ) passaram por uma avaliação estatística. As superfícies de contorno, para cada resultado em função das variáveis potencial e pH, obtidas pela técnica de metodologia de superfície de resposta (MSR) são apresentadas nas Figuras 5.

**Figura 5:** Superfície de contorno para os resultados de: a)  $E_{\text{corr}}$ ; b)  $R_p$  e c)  $i_{\text{corr}}$  em função do potencial e do pH da suspensão eletrolítica.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Observa-se na superfície de contorno para os resultados de potencial de corrosão (Fig. 1a) que os melhores resultados foram obtidos quando as variáveis potencial e pH foram avaliadas nos níveis superiores do planejamento fatorial (10V e pH 5,5). Comportamento semelhante foi observado para os resultados de resistência à polarização (Fig. 1b), sendo os melhores resultados também obtidos nos níveis superiores do planejamento (+1 e +1). Como esperado, os melhores resultados de densidade de corrente de corrosão também foram obtidos quando as variáveis foram estudadas nos níveis superiores (10V e pH 5,5), pois, neste caso, quanto menor o valor de  $i_{\text{corr}}$  maior a resistência à corrosão do material (Fig. 1c).

## CONCLUSÃO

Neste trabalho revestimentos de quitosana-tungstênio (Quit-W) foram obtidos com sucesso utilizando a técnica de deposição eletroforética. Mais especificamente foram obtidos revestimentos compósitos formados por uma matriz de quitosana impregnada com tungstênio como comprovado pelos resultados de MEV/EDS. Os resultados eletroquímicos de corrosão mostraram que o revestimento compósito de Quit-W pode ser aplicado na proteção temporária do aço 1020 quando exposta ao meio corrosivo de NaCl (3,5%). A avaliação estatística obtida pela técnica de metodologia de superfície de resposta (MSR) mostrou que os melhores revestimentos foram obtidos quando as variáveis (potencial e pH da suspensão) foram avaliadas nos níveis superiores do planejamento experimental, 10V e pH 5,5 (+1; +1). Portanto, os resultados aqui apresentados confirmam a obtenção de uma nova classe de revestimentos compósitos a base de quitosana com potencial aplicações em diferentes setores tecnológicos.

## REFERÊNCIAS

CARNEIRO, J.; TEDIM, J.; FERNANDES, S. C. M.; FREIRE, C. S. R.; GANDINI, A.; FERREIRA, M. G. S.; ZHELUDKEVICH, M. L. Chitosan as a Smart Coating for Controlled Release of Corrosion Inhibitor 2-Mercaptobenzothiazole. **ECS Electrochemistry Letters**, v. 2, n. 6, p. C19–C22, 2013.

CLAVIJO, S.; MEMBRIVES, F.; QUIROGA, G.; BOCCACCINI, A. R.; SANTILLÁN, M. J. Electrophoretic deposition of chitosan/Bioglass® and chitosan/Bioglass®/TiO<sub>2</sub> composite coatings for bioimplants. **Ceramics International**, v. 42, n. 12, p. 14206–14213, 2016.

CUI, L.; GAO, S.; SONG, X.; HUANG, L.; DONG, H.; LIU, J.; CHEN, F.; YU, S. Preparation and characterization of chitosan membranes. **RSC Advances**, v. 8, n. 50, p. 28433–28439, 2018.

DEV, V. G.; THINAKARAN, S.; NEELAKANDAN, R. Electrophoretic deposition of chitosan: A rapid surface modification technique for centrifugal spun fibrous web. **Journal of Industrial Textiles**, v. 44, n. 5, p. 725–737, 2015.

DING, F.; NIE, Z.; DENG, H.; XIAO, L.; DU, Y.; SHI, X. Antibacterial hydrogel coating by electrophoretic co-deposition of chitosan/alkynyl chitosan. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, n. 2, p. 1547–1552, 2013.

EL-HADDAD, M. N. Chitosan as a green inhibitor for copper corrosion in acidic medium. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 55, p. 142–149, 2013.

FARROKHI-RAD, M.; SHAHRABI, T.; MAHMOODI, S.; KHANMOHAMMADI, S. Electrophoretic deposition of hydroxyapatite-chitosan-CNTs nanocomposite coatings. **Ceramics International**, v. 43, n. 5, p. 4663–4669, 2017.

FAYOMI, O. S. I.; AKANDE, I. G.; OLUWOLE, O. O.; DARAMOLA, D. Effect of water-soluble chitosan on the electrochemical corrosion behaviour of mild steel. **Chemical Data Collections**, v. 17–18, p. 321–326, 2018.

GEBHARDT, F.; SEUSS, S.; TURHAN, M. C.; HORNBERGER, H.; VIRTANEN, S.; BOCCACCINI, A. R. Characterization of electrophoretic chitosan coatings on stainless steel. **Materials Letters**, v. 66, n. 1, p. 302–304, 2012.

GENTIL, V. **CORROSÃO**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

HASSAN, S.; SUZUKI, M.; EL-MONEIM, A. A. Synthesis of MnO<sub>2</sub>-chitosan nanocomposite by one-step electrodeposition for electrochemical energy storage application. **Journal of Power Sources**, v. 246, p. 68–73, 2014.

HASSANNEJAD, H.; MOGHADDASI, M.; SAEBNOORI, E.; BABOUKANI, A. R. Microstructure, deposition mechanism and corrosion behavior of nanostructured cerium oxide conversion coating modified with chitosan on AA2024 aluminum alloy. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 725, p. 968–975, 2017.

HEISE, S.; HÖHLINGER, M.; HERNÁNDEZ, Y. T.; PALACIO, J. J. P.; RODRIGUEZ ORTIZ, J. A.; WAGENER, V.; VIRTANEN, S.; BOCCACCINI, A. R. Electrophoretic deposition and characterization of chitosan/bioactive glass composite coatings on Mg alloy substrates. **Electrochimica Acta**, v. 232, p. 456–464, 2017.

HEISE, S.; WIRTH, T.; HÖHLINGER, M.; HERNÁNDEZ, Y. T.; ORTIZ, J. A. R.; WAGENER, V.; VIRTANEN, S.; BOCCACCINI, A. R. Electrophoretic deposition of chitosan/bioactive glass/silica coatings on stainless steel and WE43 Mg alloy substrates. **Surface and Coatings Technology**, v. 344, p. 553–563, 2018.

KHALILI, M.; ABEDI, M.; AMOLI, H. S.; MOZAFFARI, S. A. Comparison of chitosan and chitosan nanoparticles on the performance and charge recombination of water-based gel electrolyte in dye sensitized solar cells. **Carbohydrate Polymers**, v. 175, p. 1–6, 2017.

LI, Y.; WU, K.; ZHITOMIRSKY, I. Electrodeposition of composite zinc oxide-chitosan films. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 356, p. 63–70, 2010.

LIU, Y.; ZHANG, B.; GRAY, K. M.; CHENG, Y.; KIM, E.; RUBLOFF, G. W.; BENTLEY, W. E.; WANG, Q.; PAYNE, G. F. Electrodeposition of a weak polyelectrolyte hydrogel: remarkable effects of salt on kinetics, structure and properties. **Soft Matter**, v. 9, n. 9, p. 2703, 2013.

MAHMOODI, S.; SORKHI, L.; FARROKHI-RAD, M.; SHAHRABI, T. Electrophoretic deposition of hydroxyapatite-chitosan nanocomposite coatings in different alcohols. **Surface and Coatings Technology**, v. 216, p. 106–114, 2013.

MOLAEI, A.; YARI, M.; AFSHAR, M. R. Modification of electrophoretic deposition of chitosan–bioactive glass–hydroxyapatite nanocomposite coatings for orthopedic applications by changing voltage and deposition time. **Ceramics International**, v. 41, n. 10, p. 14537–14544, 2015.

ORDIKHANI, F.; TAMJID, E.; SIMCHI, A. Characterization and antibacterial performance of electrodeposited chitosan-vancomycin composite coatings for prevention of implant-associated infections. **Materials Science and Engineering C**, v. 41, p. 240–248, 2014.

PANG, X.; ZHITOMIRSKY, I. Electrodeposition of hydroxyapatite-silver-chitosan nanocomposite coatings. **Surface and Coatings Technology**, v. 202, n. 16, p. 3815–3821, 2008.

RADDA'A, N. S.; GOLDMANN, W. H.; DETSCH, R.; ROETHER, J. A.; CORDERO-ARIAS, L.; VIRTANEN, S.; MOSKALEWICZ, T.; BOCCACCINI, A. R. Electrophoretic deposition of tetracycline hydrochloride loaded halloysite nanotubes chitosan/bioactive glass composite coatings for orthopedic implants. **Surface and Coatings Technology**, v. 327, p. 146–157, 2017.

RADDAHA, N. S.; CORDERO-ARIAS, L.; CABANAS-POLO, S.; VIRTANEN, S.; ROETHER, J. A.; BOCCACCINI, A. R. Electrophoretic deposition of chitosan/h-BN and chitosan/h-BN/TiO<sub>2</sub> composite coatings on stainless steel (316L) substrates. **Materials**, v. 7, n. 3, p. 1814–1829, 2014.



REHMAN, M. A. U.; MUNAWAR, M. A.; SCHUBERT, D. W.; BOCCACCINI, A. R. Electrophoretic deposition of chitosan/gelatin/bioactive glass composite coatings on 316L stainless steel: A design of experiment study. **Surface & Coatings Technology**, v. 358, p. 976–986, 2019.

SIMCHI, A.; PISHBIN, F.; BOCCACCINI, A. R. Electrophoretic deposition of chitosan. **Materials Letters**, v. 63, n. 26, p. 2253–2256, 2009.

SONG, J.; CHEN, Q.; ZHANG, Y.; DIBA, M.; KOLWIJCK, E.; SHAO, J.; JANSEN, J. A.; YANG, F.; BOCCACCINI, A. R.; LEEUWENBURGH, S. C. G. Electrophoretic Deposition of Chitosan Coatings Modified with Gelatin Nanospheres To Tune the Release of Antibiotics. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 8, n. 22, p. 13785–13792, Jun. 2016.

SORKHI, L.; FARROKHI-RAD, M.; SHAHRABI, T. Electrophoretic deposition of chitosan in different alcohols. **Journal of Coatings Technology Research**, v. 11, n. 5, p. 739–746, 2014.

TABESH, E.; SALIMIJAZI, H. R.; KHARAZIHA, M.; MAHMOUDI, M.; HEJAZI, M. Development of an in-situ chitosan-copper nanoparticle coating by electrophoretic deposition. **Surface and Coatings Technology**, v. 364, p. 239–247, 2019.

WANG, Z.; ZHANG, X.; GU, J.; YANG, H.; NIE, J.; MA, G. Electrodeposition of alginate/chitosan layer-by-layer composite coatings on titanium substrates. **Carbohydrate Polymers**, v. 103, n. 1, p. 38–45, 2014.

ZHAO, Y.; LIU, H.; WANG, Z.; ZHANG, Q.; LI, Y.; TIAN, W.; TONG, Z.; WANG, Y.; HUSELSTEIN, C.; SHI, X.; CHEN, Y. Electrodeposition to construct mechanically robust chitosan-based multi-channel conduits. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 163, p. 412–418, 2018.

# CAPÍTULO 26

## ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE FRAÇÕES DAS CASCAS DO CAULE DE *GUSTAVIA AUGUSTA* (ERICALES: LECYTHIDACEAE) E SEUS COMPOSTOS FENÓLICOS<sup>11</sup>

**André Santos Nascimento**  
**Thiago de Sousa Batista**  
**Efraim Costa Pereira**  
**Richard Pereira Dutra**  
**Queli Cristina Fidelis**


### RESUMO

A Jeniparana (*Gustavia augusta*) é uma espécie pertencente à família Lecythidaceae, distribuída na América, desde Costa Rica até o sul da Amazônia e Nordeste brasileiro. Índios da Guiana Francesa e ribeirinhos amazonenses utilizam infusões da casca do caule e da folha para o tratamento de diversas doenças, entre elas, a leishmaniose. Também foram identificados compostos com ação antineoplásica e leishmanicida em espécies desse gênero. Diante dessas informações, a referida espécie apresenta potencial para estudo químico e biológico, uma vez que se conhece pouco sobre o gênero. O presente trabalho realizou a identificação das frações com potencial bioativo obtidas das cascas do caule de *G. augusta* pela determinação do conteúdo de fenóis totais, usando o reagente Folin-Ciocalteu, e pela avaliação da atividade antioxidante, por meio dos DPPH, ABTS e redução de íons férrico (FRAP), além da análise qualitativa por cromatografia líquida de alta eficiência. As frações de *Gustavia augusta* apresentaram atividade antioxidante correlacionada à concentração de compostos fenólicos com a captura radicalar e redução dos íons férricos utilizando coeficiente de correlação de Pearson. A fração em diclorometano foi a fração com maior percentual de compostos fenólicos totais  $269,55 \pm 1,52$  mg EAG.g<sup>-1</sup> e com atividade antioxidante de redução de íons ferro  $751,00 \pm 0,88$   $\mu$ M FeSO<sub>4</sub>.g<sup>-1</sup> e captura de radicais ABTS  $266,72 \pm 14,14$   $\mu$ M ETrolox.g<sup>-1</sup>. A melhor atividade antioxidante de captura de radicais DPPH foram obtida com a fração diclorometano:metanol 7:3, com uma CE<sub>50</sub>= 66,06  $\mu$ g.mL<sup>-1</sup>. As análises por CLAE-UV-Vis permitiram identificar os ácidos gálico, cumárico e cafeico juntamente com a naringenina nas frações diclorometano e diclorometano:metanol-7:3 por comparação dos tempos de retenção dos constituintes das frações com padrões autênticos. Através do presente estudo foram identificadas três frações de média polaridade (diclorometano, diclorometano:metanol 7:3 e 1:1), as quais apresentaram os melhores resultados antioxidantes e alto percentual de fenólicos totais. Tal resultado indica potencial bioativo promissor.

**PALAVRAS-CHAVE:** Jeniparana. Compostos fenólicos. ABTS. DPPH. FRAP.

### INTRODUÇÃO

<sup>11</sup> Os autores agradecem a FAPEMA pelo financiamento.



O estado do Maranhão apresenta uma rica diversidade de espécies vegetais oriundas de três biomas brasileiros, floresta amazônica, cerrado e caatinga, com grande quantidade de espécies, ainda pouco estudadas quanto a sua composição química e propriedades biológicas (SILVA, FIGUEIREDO, ANDRADE, 2008). Dentre essas, encontram-se as espécies do gênero *Gustavia*, pertencente à família Lecythidaceae, o qual possui cerca de 40 espécies distribuídas no continente Americano da Costa Rica até a Amazônia e Nordeste brasileiro (MORI et al., 2007). Cerca de cinco espécies desse gênero apresentam estudos científicos publicados com abordagem química e atividade biológica (SOUZA et al., 2001; PETTIT et al., 2004; ALMEIDA et al., 2011; GARCIA-TORRES et al., 2019; REYES-MERA et al., 2019). Uma delas é a *Gustavia augusta* que possui informação da composição química apenas para as cascas do caule (triterpenos e esteroides, SOUZA et al., 2001) e dos frutos (compostos fenólicos e ácidos graxos, GARCIA-TORRES et al., 2019). Outras espécies desse gênero possuem estudos biológicos relevantes como a *G. hexapetala* que mostrou atividades antineoplásicas e anti-inflamatórias *in vitro* (PETTIT et al., 2004) e a *G. elliptica* exibiu ação leishmanicidas *in vitro* (ALMEIDA et al., 2011).

Há também relatos de uso etnomedicinal na literatura pelo uso de extratos da casca do caule de espécies de *Gustavia* no tratamento de leishmaniose por índios da Guiana Francesa (ALMEIDA et al., 2011; SOUZA et al., 2001) e registro de uso da *G. brasiliiana* D. C. contra doenças hepáticas no Brasil do século XIX (PETTIT et al., 2004). Tais informações demonstram que espécies de *Gustavia* são boas candidatas ao estudo químico e biológico, os quais podem visar o combate de patologias parasitárias, hepatopatias, dentre outras.

A busca por compostos naturais bioativos tem estimulado as pesquisas de espécies vegetais com alguma utilização popular, seja ela alimentícia ou terapêutica. Ensaio antioxidantes são uma das estratégias mais comuns na identificação de compostos, frações ou extratos bioativos, uma vez que agentes antioxidantes agem sobre o stress oxidativo, o qual está relacionado a processos inflamatórios, neoplasias, doenças neurodegenerativas e cardiovasculares (LÓPEZ-ALARCÓN, DENICOLA, 2012; PISOSCHI, POP, 2015). A identificação de frações com alto conteúdo de fenóis totais e atividade antioxidante serve de direcionamento para uma avaliação biológica mais aprofundada ou mesmo um estudo fitoquímico de isolamento e determinação molecular dos agentes antioxidantes. Até o momento não foram encontrados estudos antioxidantes *in vitro* para a espécie *G. augusta*. Segundo Almeida et al., (2011) poucos são os estudos fitoquímicos realizados com o gênero *Gustavia* e

esses descrevem compostos fenólicos, ácidos graxos, triterpenos e esteroides como os principais constituintes presentes no gênero.

Sabendo-se que as espécies do gênero são usadas como remédio caseiro e que foram poucos investigadas, a avaliação antioxidante de espécies de *Gustavia* torna-se uma contribuição importante para a pesquisa de produtos naturais e sobre a biodiversidade brasileira. Diante das informações supracitadas, o presente trabalho teve como objetivo identificar frações antioxidantes obtidas da casca do caule de *G. augusta*, usando ensaios antioxidante *in vitro*. Para isso, as frações obtidas no fracionamento cromatográfico do extrato etanólico das cascas tiveram os seus conteúdos de fenóis totais quantificados usando o reagente de Folin-Ciocalteu e suas atividades antioxidantes *in vitro* determinadas através dos ensaios de DPPH, ABTS e FRAP, bem como as frações com melhores atividades antioxidantes foram submetidas a análises qualitativas por CLAE-UV-Vis.

## REFERENCIAL TEÓRICO

As espécies de Lecythidaceae são de ocorrência pantropicais (Ásia, África e América), com a maior incidência na região amazônica não inundada (MORI, 1990). Essa família possui cerca de 24 gêneros, totalizando mais de 300 espécies, as quais estão divididas em três subfamílias: Foetidioideae, Planchonioideae e Lecythidoideae. As duas primeiras contemplam os gêneros endêmicos da Ásia e leste da África, enquanto, que a última é de ocorrência nas Américas Central e do Sul (MORI et al., 2007).

Algumas espécies da família Lecythidaceae exercem um importante papel no ambiente e na economia, sendo usadas em planos de manejo e recuperação de áreas degradadas, como a castanha-do-Pará (*Bertholletiva excelsa* HBK), o jequitibá (*Cariniana legalis* (Mart.) Kuntz), a sapucaia (*Lecythispisonis cambes*), bem como na exploração de seus frutos, castanhas de alto valor agregado, e madeira (SILVA et al., 2014; CARVALHO, 2003).

Estima-se que na região neotropical são encontrados cerca de dez gêneros dessa família, com aproximadamente 200 espécies endêmicas (MORI et al., 2007). Esse quantitativo tem aumentado devido a identificações de novas espécies da família, relatadas na literatura (CORNEJO; MORI, 2019). A maioria das espécies neotropicais dessa família não possuem estudos químicos e biológicos, a exemplo, encontra-se o gênero *Gustavia*, o segundo maior da família na região neotropical, o qual possui aproximadamente 40 espécies distribuídas na América Central e do Sul (ALMEIDA et al., 2011), com poucas espécies estudadas até o momento.

A partir de pesquisa bibliográfica foi realizada uma compilação das substâncias identificadas nas espécies do gênero *Gustavia*, a qual é apresentada na Tabela 1, que relaciona os constituintes identificados em cada espécie, tecido vegetal estudado e solventes de extração utilizados.

**Tabela 1:** Substâncias identificadas em espécies do gênero *Gustavia*.

Espécie	Substância	Tecido Vegetal	Solvente de Extração	Referências
<i>G. augusta</i>	Ácido salicílico (1) Ácido <i>trans</i> -cinâmico (2) Ácido 4-hidroxibenzóico (3) Ácido vanílico (4) Ácido caféico (5) Ácido sinápico (6)	Frutos	Etanol e água	(GARCÍA-TORRES <i>et al.</i> , 2009)
<i>G. augusta</i>	Espinasterona (7) Estigmasterol (8) Espinasterol (9) Taraxerona (10) Epitaraxerol (11) Isomiricadiol (12) Taraxerol (13) $\alpha$ -amirina (14) $\beta$ -amirina (15) 3 $\alpha$ -hidroxi-lupeol (16) Lupeol (17) Ácido betulínico (18)	Casca do caule	Hexano	(SOUZA <i>et al.</i> , 2001)
<i>G. elliptica</i>	Blumenol B (19) 6-epiblumenol B (20) Friedelina (21) Friedelanol (22) $\alpha$ - amirina (14) $\beta$ - amirina (15) Palmitado de etila (23) Linoleato de etila (24) Oleanato de etila (25) Estearato de etila (26) <i>Epi</i> -friedelanol (27) Moretenol (28) Ursa-9(11), 12-dien-3-ol (29) <i>Trans</i> -cariofileno (30) Hidnocarpato de etila (31) $\alpha$ -humuleno (32)	Folhas e casca do caule	Etanol 95%	(ALMEIDA <i>et al.</i> , 2011)
<i>G. hexapetala</i>	Gustastatina (33) Ácido betulínico (34) Xantiletina (35) Lichexantona (36) Ácido oleanólico (37) Ácido ursólico (38) Portentol (39) $\beta$ -amirina (15)	Casca do caule e galhos	Diclorometano	(PETTIT <i>et al.</i> , 2004)

Fonte: Autoria própria, 2022.

Em relação aos estudos químicos, García-Torres et al. (2009) identificou na polpa do fruto de *G. augusta* L. seis compostos fenólicos, ácido salicílico (1), ácido *trans*-cinâmico (2),


ácido 4-hidroxi-benzoico (3), ácido vanílico (4), ácido cafeico (5) e ácido sinápico. Além dos frutos, as cascas do caule dessa espécie também foram estudadas. Souza et al. (2001) identificou na fração hexânica oriunda do extrato etanólico da casca do caule de *G. augusta* três esteroides, espinasterona (7), estigmasterol (8), espinasterol (9) e nove triterpenos, taraxerona (10), epitaraxerol (11), isomircardiol (12), taraxerol (13),  $\alpha$ -amirina (14),  $\beta$ -amirina (15), 3 $\alpha$ -hidroxilupeol (16), lupeol (17) e ácido betulínico (18).

De acordo com Almeida et al., (2011), a *Gustavia elliptica* S. A. Morri, conhecida como mucurão pelos ribeirinhos amazonenses mostrou-se um forte leishmanicida contra as formas promastigotas de *Leishmania braziliensis* e *L. guyanensis* em ensaios in vitro. A espécie *Gustavia elliptica*, com sua madeira que apresenta características defensivas contra insetos indesejáveis, foi objeto de uma pesquisa que resultou no isolamento e na identificação de seis compostos das das folhas,  $\alpha$ - amirina (14),  $\beta$ - amirina (15), friedelina (19), friedelanol (20), blumenol B (22) e 6-epiblumenol B (23). Já nas cascas do caule foi identificado uma mistura de estéres graxos, palmitado de etila (24), linoleato de etila (25), oleanato de etila (26) e estearato de etila (27), além de outros seis constituintes, epi-friedelanol (21), moretenol (28), urs-9(11)-12-dien-3-ol (29), trans-cariofileno (30), hidnocarpato de etila (31) e  $\alpha$ -humuleno (32; ALMEIDA et al., 2011).

As cascas do caule tem sido a parte mais investigada, a *G. hexapetala* em estudo conduzido por Pettit et al. (2004) apresentou no extrato em diclorometano um novo depsídeo, a gustastatina (33), além de mais sete compostos já conhecidos,  $\beta$ -amirina (15), ácido betulínico (18), xantiletina (34), lichexantona (35), ácido oleanólico (36), ácido ursólico (37) e portentol (38). A gustastatina e o ácido betulínico apresentaram forte ação inibitória contra células cancerígenas humanas (PETTIT et al., 2004).

O principal uso medicinal se dá no tratamento de leishmaniose por meio da utilização dos frutos e cascas, relatadas pelos índios da Guiana Francesa (SOUZA et al., 2001; GRENARD et al. 1987). Ainda há pouco conteúdo relacionado a essa família, e a esta espécie em específico, que possa explicar ou comprovar a eficácia das substâncias presentes no combate aos protozoários do gênero *Leishmania*. Quanto ao uso relacionado a uma espécie específica, foi encontrado apenas o registro do uso da *G. brasiliana* D. C. contra doenças hepáticas em 1843, no Brasil (PETTIT et at., 2004).

Ácidos fenólicos, triterpenos, esteroides, ésteres graxos, cumarinas e xantona foram identificados em frutos, folhas e casca do caule de espécie de *Gustavia*. Na casca do caule de




G. augusta foram identificados triterpenos e esteroides, uma vez que Souza et al. (2001) se limitou a estudar a fração hexânica. Extratos em diclorometano e etanol por apresentar maior polaridade em comparação a polaridade do hexano, mostrou a presença de compostos fenólicos nos estudos de Pettit et al. (2004) e García-Torres et al. (2009).

Nesse contexto fracionamentos e particionamentos são usados para obter frações, partições e misturas de compostos separados por adsorção diferencial, polaridade, peso molecular ou outras propriedades físicas. A cromatografia pode ser usada para quantificar e qualificar as substâncias presentes em extratos e também é empregada em métodos de separação e isolamento de compostos presentes nos extratos como nos trabalhos citados acima.

### **Cromatografia**

Cromatografia é um método físico-químico de separação de compostos de uma mistura criado pelo botânico russo M.S. Tswett, que consiste na interação dos componentes da mistura com duas fases imiscíveis, uma móvel e outra estacionária, que permanecem em contato durante todo o processo (COLLINS et al., 1997, p. 13). Apesar dos diferentes tipos de métodos cromatográficos existentes, pode-se definir o processo de separação como sendo a migração diferencial de cada componente da mistura por meio da fase estacionária, juntamente com a fase móvel que a permeia. A interação dos componentes da mistura com a fase estacionária se dá de forma seletiva com diferente tempo de deslocamento (LANÇAS, 2016, p. 21).

A cromatografia em coluna está entre as mais utilizadas, podendo ser uma coluna aberta de bancada ou uma coluna fechada usada em métodos pressurizados (DEGANI, CASS, VIEIRA, 1998). Podem ser empregadas diferentes fases estacionárias na cromatografia em coluna, sendo amplamente usados os recheios que promovem a separação pelos mecanismos de adsorção, partição líquido – líquido, troca iônica e exclusão molecular. Na coluna aberta, a mistura é colocada no topo da coluna sobre o recheio (fase estacionária), pois ela se baseia no deslocamento ao longo da fase estacionária por meio do eluente (fase móvel). Para uma fase estacionária adsorvente é usado uma fase móvel apolar, sendo possível aumentar sua polaridade gradativamente – de forma gradiente – aumentando assim o arraste das substâncias polares presentes na mistura que estão sendo separadas no processo. A polaridade da fase móvel também pode ser mantida – de forma isocrática – durante todo o processo de separação, se este método favorecer a separação, o que torna a eluição mais rápida de ser realizada (AMORIM, 2019, p. 38).



Um outro recurso cromatográfico bastante utilizado como acompanhamento analítico da composição das frações durante o fracionamento em coluna é a cromatografia em camada fina (Thin Layer Chromatography - TLC). Ela é um tipo de cromatografia planar, em que a fase estacionária está na forma de uma camada fina sobre uma superfície plana, entretanto, se destacando entre as técnicas analíticas por sua fácil execução e rapidez dos resultados (POOLE, 2003, p. 501). A TLC engloba vários tipos de separações tais como, adsorção, partição e troca iônica, sendo a adsorção e a partição os principais mecanismos de separação da cromatografia em camada fina (STRIEGEL, HILL, 1996, p. 26).

A TLC traz grandes vantagens, tais como: fácil compreensão e execução, separação em breves espaços de tempo, versatilidade, grande reprodutibilidade e baixo custo; além de proporcionar aplicações analíticas ou preparativas, a depender da espessura da camada delgada de adsorventes e da amostra em análise. A TLC utiliza diversos adsorventes como, sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), terra diatomácea, celulose, poliamida e outros (COLLINS et al., 1997, p. 47).

Equipamentos cromatográficos de análises rápidas e alta sensibilidade e resolução são outras vantagens de ampla aplicação, como a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) e Cromatografia Gasosa (CG), os quais são usados para análises qualitativas e quantitativas (DEGANI, CASS, VIEIRA, 1998). No entanto, esses equipamentos apresentam um elevado custo de aquisição e manutenção e demandam o uso de solventes e padrões analíticos de alta pureza o que acabam encarecendo projetos de pesquisa que requerem análises de identificação ou quantificação de amostras contendo um grande número de constituintes químicos.


Dessa forma, métodos quantitativos para determinadas classes de compostos são uma opção mais econômica para análises quantitativas de um grande número de amostras ou que tenham como objetivo a seleção de amostras quanto ao seu conteúdo químico.

Na literatura são encontrados ensaios espectrofotométricos para várias classes de compostos, tais como fenóis totais (CICCO et al., 2009; EVERETTE et al., 2010), flavonoides (MEDA et al., 2005), aminoácidos (DOI et al., 1981), saponinas (ARAÚJO, SALES, 2020), dentre outros.

### **Compostos fenólicos**

Os compostos fenólicos são uma gama de metabólitos secundários, facilmente encontrados no reino vegetal, os quais estão divididos em fenóis simples, derivados dos ácidos hidroxibenzóico e hidroxicinâmico, além de flavonoides, cumarinas e polifenóis, tais como os taninos (NACZK, SHAHIDI, 2004).






Um reagente comum para ser usado frente aos compostos supracitados é o reagente Folin-Ciocalteu (FC), que tem sido usado como método de determinação do teor de compostos fenólicos em amostras com complexa mistura de constituintes, como alimentos, ervas e vários extratos de plantas (AZEEM, MOHESEN, IBRAHIM, 2020). Em estudo realizado para testar a reatividade do reagente FC em relação às diversas classes de compostos, fenóis, tióis, vitaminas, aminoácidos, proteínas, ácidos graxos insaturados e outros, verificou-se que todos os fenóis, proteínas e tióis testados foram identificados como reativos ao reagente FC (EVERETTE et al., 2010).

Esse reagente baseia-se na oxidação de polifenóis por molibdênio e tungstênio para produzir um produto de coloração azul, que ocorre devido à absorção máxima que depende da composição qualitativa e quantitativa das misturas fenólicas. Além disso, utiliza-se um metal que é reduzido no meio reacional formando um complexo de cor azul que é medido por meio de espectrofotometria no comprimento de onda de 730 nm. Como o processo utiliza água ou solventes orgânicos polares no preparo das amostras, o protocolo padrão do FC só pode avaliar os fenólicos hidrofílicos de uma amostra (AZEEM MOHESEN, IBRAHIM, 2020; EVERETTE et al., 2010; CICCIO et al., 2009). Apesar dessa limitação, a metodologia de quantificação de fenóis totais em extratos vegetais ainda é bem empregada, pois os solventes polares como álcool etílico e soluções hidroalcolólicas são capazes de extrair grande parte dos compostos presente na matriz vegetal. Devido ao uso de pequenas alíquotas da amostra diluída, a solubilidade da mesma não é comprometida durante os ensaios.

### **Ensaio antioxidantes**

Devido à procura por substâncias bioativas, várias estratégias têm sido usadas para realizar uma seleção dos extratos, frações e substâncias. Ensaio antioxidantes são uma das estratégias mais comuns, uma vez que compostos com ação antioxidante estão diretamente ligados a uma série de efeitos benéficos à saúde, dos quais destacam-se a ação protetora contra câncer e doenças cardiovasculares (LÓPEZ-ALARCÓN; DENICOLA, 2012).

Para realizar uma avaliação do potencial antioxidante de uma amostra, tem-se aplicado diferentes metodologias a fim de identificar os mecanismos antioxidantes presentes na amostra. Entre essas metodologias, encontram-se as que avaliam a captura de radicais livres, a peroxidação lipídica, o poder de redução de metais, dentre outras (RUFINO et al., 2006). Os compostos fenólicos estão entre os compostos que melhor desempenham a atividade antioxidante na maioria dos mecanismos supracitados (WETTASINGHE, SHAHIDI, 1999).



Grande atenção tem sido dada aos compostos que atuam contra radicais livres, devido aos prejuízos que esses últimos podem promover às moléculas vitais do organismo. Um radical é uma espécie que possui em sua estrutura um ou mais elétrons desemparelhados, característica que o torna capaz de reagir facilmente com outros compostos para formarem outros radicais livres por meio de reações em cadeia (MARTÍNEZ-SÁNCHEZ et al., 2003).

Compostos fenólicos reagem com radicais livres por meio de doação de elétrons, promovendo a estabilização dessas espécies radicalares de forma eficiente. Com isso, os antioxidantes agem como coletores, ajudando a prevenir danos nas células e tecidos que podem promover o surgimento de doenças (FLORA, 2007). Desta forma, os compostos com ação antioxidante podem agir diretamente na prevenção de danos celulares.

De acordo com a literatura, diversos métodos foram desenvolvidos, tendo o objetivo de investigar a ação antioxidante de substâncias naturais puras, extratos vegetais, antioxidantes sintéticos comerciais, dentre outros. Muitos autores recomendam que as avaliações das atividades antioxidantes não sejam concluídas com base em apenas um único método. Entre os métodos de mais comuns e frequentemente usados estão: método de captura do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH), captura do radical 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolína-6-ácido sulfônico) conhecido pela sigla ABTS e o ensaio de poder de redução de íons férrico conhecido pela sigla FRAP, do inglês Ferric Reducing Antioxidant Power (NUR ALAM et al., 2013). A seguir, os métodos citados serão resumidamente apresentados.

O radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil foi descrito pela primeira vez por Blois, em 1958, e foi constantemente modificado pelos investigadores com o decorrer do tempo. O DPPH é um radical livre estável que reage aos compostos que podem doar átomos de hidrogênio. Este método se baseia na captura do DPPH a partir da adição de uma espécie de radical ou de um antioxidante que descolora a solução DPPH à medida que o radical é consumido pela reação (KRISHNAIAH, SABATLY, NITHYANANDAM, 2011). Uma solução alcoólica de DPPH apresenta uma cor violeta escura, proveniente do elétron que se desloca na estrutura molecular do radical, onde é caracterizada por uma banda de absorção em solução de etanol centrado em 517 nanômetros (nm). Desse modo, quando a solução se mistura com substrato que pode reagir com o DPPH, a solução acaba perdendo a cor violeta escura (NUR ALAM et al., 2013). Essa reação pode ser quantificada por análise espectrofotométrica e pela aplicação da lei de Lambert-Beer (CANASSA, LAMONATO, RIBEIRO, 2018).

A captura do radical 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) é um método de limpeza que foi desenvolvido pela Rice-Evans e Miller em 1994 e é amplamente utilizado em ensaios antioxidantes de amostras de plantas. A modificação de ABTS baseia-se na ativação da metamioglobina com peróxido de hidrogênio na presença de  $ABTS^{\cdot+}$  para a produção de um cátion radical. As modificações promovidas pelo método para alcançar a sua aprimoração resultaram em um cromóforo radicalar de coloração verde escuro, devido à reação do ABTS e o persulfato de potássio (KRISHNAIAH, SABATLY, NITHYANANDAM, 2011).

O radical do ABTS é produzido pela oxidação do persulfato de potássio com o ABTS, e a redução ocorre devido à presença de antioxidantes doadores de hidrogênio, que são medidos por meio da espectrofotometria a 734 nm. O método de captura do radical ABTS usa o Trolox, um análogo solúvel em água de vitamina E como um controle positivo. A atividade do Trolox é expressa por meio da capacidade antioxidante equivalente a Trolox do extrato (TEAC/mg) (KRISHNAIAH, SABATLY, NITHYANANDAM, 2011).

O método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) mede a capacidade dos antioxidantes de reduzir o ferro ( $Fe^{3+}$  para  $Fe^{2+}$ ). A reação ocorre pela adição do agente antioxidante a ser avaliado no ensaio, a uma solução obtida a partir de cloreto férrico e de 2,3,5-trifenil-1,3,4-triaza-2-azoniaciclopenta-1, 4-cloreto de dieno (TPTZ). A redução é monitorada e medida por meio de um espectrofotômetro a 593 nm. Os valores do FRAP são apanhados por meio da comparação dos valores obtidos com os antioxidantes com a curva padrão de sulfato ferroso e expressos como  $\mu M$  de equivalentes de  $Fe^{2+}$  (NUR ALM et al., 2013).

## **METODOLOGIA**

### **Reagentes químicos**

Os reagentes carbonato de sódio anidro P.A. ( $NaCO_3$ ), acetato de sódio trihidratado ( $CH_3COONa.3H_2O$ ), persulfato de potássio ( $K_2S_2O_8$ ), sulfato de ferroso heptahidratado ( $FeSO_4.7H_2O$ ) e cloreto de férrico hexahidratado ( $FeCl_3.6H_2O$ ), foram adquiridos da Dinâmica Química Contemporânea Ltda. O reativo para fenol, Folin-Ciocateau, adquirido da Vetec Química Fina. O sal diamônio de 2,2-azino-bis-(ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato) (ABTS); 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH); 2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina (TPTZ) e 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-ácido carboxílico (TROLOX), foram adquiridos da Sigma-Aldrich Brasil Ltda. O gel de sílica 70-230 mesh obtido pela Silicycle. Hexano PA, diclorometano PA, e metanol PA foram obtidos da Isofar e acetonitrila e metanol grau espectroscópico da Merck.

## **Elaboração dos extratos a partir do material vegetal**

O material vegetal da casca do caule de *Gustavia augusta* L. foi coletado no distrito Bela Vista, município de Araganã, Maranhão. Uma exsicata dessa espécie (número 12.503) encontra-se depositada no Herbário do Maranhão da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Campus Dom Delgado, São Luís. O acesso a esse Patrimônio Genético encontra-se cadastrado na plataforma do Sistema SISGEN sob o n. A39040F.

As cascas foram secas em estufa de secagem (SL-100 Solab) a 50°C, posteriormente, moídas para uso na extração da casca do caule. O material vegetal foi pesado (360 g) e distribuído em frasco de vidro e submerso em etanol absoluto. A extração foi realizada por maceração a frio de forma exaustiva. A solução extrativa foi concentrada em evaporador rotatório (Q344M Quimis), à pressão reduzida, e o resíduo armazenado em frasco âmbar e colocado em estufa a 40 °C até alcançar a ausência completa de etanol. Após o processo de secagem, o material foi armazenado em geladeira (Consul Frost Free CRB39AB) até a data de sua utilização em fracionamento cromatográfico (FIDELIS, 2015).

## **Fracionamento cromatográfico**

Uma amostra de 4,69 g de extrato etanólico foi dissolvida em etanol e incorporada em gel de sílica para confecção da pastilha. A coluna cromatográfica foi empacotada com gel de sílica e recebeu a pastilha no topo. O fracionamento da coluna foi realizado com hexano, diclorometano, diclorometano:metanol 7:3, diclorometano:metanol 1:1 e metanol em ordem crescente de polaridade. As frações recolhidas em cada solvente foram concentradas em evaporador rotatório, à pressão reduzida, e os resíduos gerados, após totalmente secos, foram submetidos aos ensaios de antioxidante e de determinação do conteúdo de fenóis totais (adaptado de FIDELIS, 2015).

## **Ensaio de quantificação de compostos fenólicos totais Folin-Ciocalteu**

Soluções estoques na concentração de 2,0 mg/mL de cada frações foram preparadas em metanol em grau espectroscópico. Alíquotas de 0,5 mL das soluções das frações foram transferidas para tubos de ensaio identificado e na sequência foram adicionados 2,5 mL de solução aquosa a 10 % de reagente Folin-Ciocalteu; e aguardou-se cinco minutos antes de adicionar 2,0 mL de solução de carbonato de sódio a 14 %. Deixou-se a mistura reagir por trinta minutos. Após período de reação foi realizada a leitura da absorbância em espectrofotômetro digital UV-Visível (GTA - 96 – Global Trade Technology), no comprimento de onda de 760 nm (SALGUEIRO, 2012). Cada amostra foi avaliada em triplicata. Os valores de absorbância

foram convertidos para mg de equivalente de ácido gálico/g de fração usando a equação da reta obtida para a curva-padrão do ácido gálico.


Para Curva do Padrão, preparou-se uma solução estoque de ácido gálico a 1 mg/mL ( $\equiv$  0,0059 mM) em metanol. Para a realização do ensaio adicionaram-se as alíquotas de 2, 6, 8, 10, 20 e 30  $\mu$ L da solução estoque de ácido gálico, juntamente com 2,5 mL de solução de Folin-Ciocalteu e, posteriormente, 2,0 mL de solução de carbonato de sódio. Após trinta minutos de reação, realizou-se a leitura em espectrofotômetro a 760 nm.

A curva analítica foi construída usando o programa Excel da Microsoft. A equação obtida a partir da extrapolação dos valores de concentração versus absorbância foi  $y = 34,739x - 0,0352$ , em que y são valores de absorbância a 760 nm e x são valores de concentração de ácido gálico. O coeficiente de correção (R) obtido foi de 0,9990. A partir dessa equação, obtiveram-se os valores de mg. mL<sup>-1</sup> de equivalente de ácido gálico (mg EAG. mL<sup>-1</sup>) para cada amostra das frações. Esses valores (mg EAG. mL<sup>-1</sup>) foram multiplicados por (4 mL/0,0002 g) para conversão em mg EAG.g<sup>-1</sup> de fração.

### **Ensaio antioxidante com radical ABTS, DPPH e FRAP**

O ensaio antioxidante pela captura do radical 2,2-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico), ABTS, foi realizado com o preparo do radical e da curva-padrão de trolox, de acordo com a metodologia de Rufino et al., (2007a), com adaptação. Primeiramente, foi preparada uma solução estoque com o reagente ABTS 7 mM, pesou-se 0,0384 g do reagente e dissolvendo em água destilada para obter um volume de 10 mL. Uma segunda solução estoque foi preparada com persulfato de potássio a 140 nM, na qual pesando-se 0,378 g e diluiu-se para 10 mL em água destilada. Para a obtenção do radical ABTS<sup>+</sup>, adicionou-se 176  $\mu$ L da solução estoque de persulfato de potássio aos 10 mL da solução estoque de ABTS, a mesma ficou em repouso para reagir por 16 minutos à temperatura ambiente e na ausência de luz. Alíquotas de 20  $\mu$ L de solução estoque de cada fração foram transferidas para tubos de ensaios e adicionados 2980  $\mu$ L de solução de radical ABTS<sup>+</sup> diluída e com uma absorbância de 0,701 a 734 nm. Todas as amostras foram feitas em duplicata. Após seis minutos de reação sob agitação, as amostras foram submetidas à leitura em espectrofotômetro na região do ultravioleta (UV) a 734 nm. A atividade antioxidante foi expressa em  $\mu$ M de trolox/g de fração.

A curva padrão do trolox foi preparada a partir de uma solução estoque de trolox a 400  $\mu$ M. Foram preparadas quatro soluções diluídas de trolox para serem usadas na curva: 25, 50, 100, 200 e 400  $\mu$ M em álcool etílico. 25  $\mu$ L de cada uma dessas soluções foram transferidos



para tubos de ensaio contendo 975  $\mu\text{L}$  de solução; depois de 6 minutos de reação, realizou-se a leitura em espectrofotômetro de UV a 734 nm.

A curva analítica foi construída usando o programa Excel da Microsoft. A equação obtida a partir da extrapolação dos valores de concentração versus absorvância foi  $y = -0,0009x + 0,7041$ , em que y são valores de absorvância a 734 nm e x são valores de concentração de trolox. O coeficiente de correção (R) obtido foi de 0,9901. A partir dessa equação, foram obtidos os valores de  $\mu\text{M}$  de equivalente de trolox para cada amostra das frações. Os valores de  $\mu\text{M}$  de equivalente de trolox/g de fração foram obtidos pela multiplicação dos valores de  $\mu\text{M}$  de equivalente de trolox por (0,010L/0,020g), considerando a quantidade de amostras em massa na solução estoque de cada fração (SILVEIRA et al., 2018).

O ensaio antioxidante pela captura do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) e a curva-padrão foram realizados segundo Rufino et al., (2007b), com adaptações. O preparado do reagente e a mistura reacional foram realizados na ausência de luz. Alíquotas de 10, 20, 50 e 100  $\mu\text{L}$  de cada solução estoque de cada fração foram adicionadas a 3990, 3980, 3950 e 3900  $\mu\text{L}$  de solução metanólica de DPPH 0,06 mM, em um tubo de ensaio. Todas as amostras foram feitas em triplicata. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro de UV, no comprimento de onda de 515 nm; após 15 minutos de reação e com repetição a cada minuto, até alcançar a estabilização do valor de absorvância. Metanol foi usado como branco, para calibrar o espectrofotômetro.

Os valores de absorvância obtidos foram usados para determinar a atividade antioxidante (AA) por meio da equação:  $AA(\%) = 100 - [(A \text{ amostra} - A \text{ branco}) \times 100 / A_{\text{DPPH}}]$ ; em que A é a absorvância. Os resultados foram expressos em concentração efetiva ( $CE_{50}$ ), que reduz 50 % da concentração inicial dos radicais livres DPPH e expresso em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , calculados por regressão linear utilizando uma curva de calibração para cada fração.

A curva controle de DPPH foi realizada de forma semelhante ao procedimento descrito acima, com uso de alíquotas de 10, 20, 50 e 100  $\mu\text{L}$  de metanol em adição a 3990, 3980, 3950 e 3900  $\mu\text{L}$  de solução metanólica de DPPH 0,06 mM, em um tubo de ensaio. Todas as amostras foram feitas em triplicata. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro de UV, no comprimento de onda de 515 nm.

O ensaio antioxidante pela redução do complexo TPTZ com  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$ , foi realizado segundo o método de Rufino et al., (2006), com adaptações. O preparo das amostras foi feito em ausência de luz. Alíquotas de 30  $\mu\text{L}$  de cada solução estoque de cada fração foram

transferidas para tubos de ensaio distintos. Na sequência, 90 µL de água destilada e 880 µL do reagente FRAP foram adicionados em cada tubo. As misturas reacionais foram homogeneizadas e mantidas em banho-maria a 37°C, por trinta minutos. A leitura da absorbância foi em espectrofotômetro de UV, usando comprimento de onda de 595 nm e como branco, o reagente FRAP. Todas as amostras foram feitas em triplicata. Uma curva-padrão de sulfato ferroso foi usada para determinar a atividade antioxidante de cada fração que foi expressa em µM sulfato ferroso/g de fração.

Para a curva padrão de sulfato ferroso foram preparadas soluções estoque nas concentrações de 500, 1000, 1500 e 2000 µM. Para cada uma dessas soluções retirou-se uma alíquota de 30 µL e transferiu-se para um tubo de ensaio contendo 90 µL de água destilada e 880 µL de reagente FRAP. Os tubos foram colocados em banho maria (SSD30L Solidsteel) por trinta minutos a 37°C. Após o período de reação, fez-se a leitura de cada amostra nas mesmas condições usadas para as amostras das frações.

A curva analítica foi construída usando o programa Excel da Microsoft. A equação obtida a partir da extrapolação dos valores de concentração versus absorbância foi  $y = 0,0004x + 0,0147$ , em que y são valores de absorbância a 595 nm e x são valores de concentração de sulfato ferroso. O coeficiente de correção (R) obtido foi de 0,9950. A partir dessa equação foram obtidos os valores de µM sulfato ferroso para cada amostra das frações, pela multiplicação dos valores de µM sulfato ferroso por (0,010L/0,020g), considerando a quantidade de amostra em massa na solução estoque de cada fração (SILVEIRA et al., 2018).

### **Análise por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)**

As amostras foram dissolvidas em metanol (grau CLAE) (5 mg.L<sup>-1</sup>), seguida de filtração em filtro de seringa de 0,45 µm de politetrafluoroetileno (PTFE, Millipore) e injeção de 10 µL em cromatógrafo líquido de alta eficiência (ProStar Varian, EUA) equipado com injetor automático (modelo 410), detector UV-Vis (modelo 310) e coluna analítica de fase reversa C-18 (250 x 4,6 mm, 5 µm, Phenomenex), com fluxo de 1,0 mL/min, detecção em 254 nm à temperatura de 25 °C. As análises foram conduzidas com uma fase móvel formada pela mistura de água ultra pura com 0,1% de ácido fórmico (A) e acetonitrila (B), a partir de gradiente linear (1 min – A(95%):B(05%); 10 min – A(80%):B(20%); 30 min – A(70%):B(30%); 40 min – A(40%):B(60%); 45 min – A(20%):B(80%); 50 min B-100%). Foram usados padrões autênticos (ácido gálico, ácido protocatecuico, ácido cafeico, ácido cumárico, rutina, canferol rutenosídeo, quercetina, canferol e naringenina, todos adquiridos da Sigma-Aldrich) para identificação de

compostos fenólicos através da comparação dos tempos de retenção e coeluição através do detector de UV-Vis.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As frações obtidas do extrato etanólico das cascas de *G. augusta* por fracionamento cromatográfico em coluna de gel de sílica foram avaliadas quanto ao teor de fenóis totais e atividade antioxidante, usando métodos de captura de espécies radicalares (radicais DPPH e ABTS) e por redução de íons  $\text{Fe}^{3+}$  a íon  $\text{Fe}^{2+}$  (FRAP). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Resultados do teor de fenóis totais e atividade antioxidante de frações das cascas de *G. augusta*.

FRAÇÕES	FT	DPPH	FRAP	ABTS
	(mg EAG.g <sup>-1</sup> )	CE <sub>50</sub> (µg.mL <sup>-1</sup> )	(µM FeSO <sub>4</sub> .g <sup>-1</sup> )	(µM ETrolox.g <sup>-1</sup> )
HE-10	86,09 ± 4,69	811,49	297,87 ± 26,52	69,22 ± 2,36
DM-10	269,55 ± 1,52	131,71	751,00 ± 0,88	266,72 ± 14,14
DM:ME-7:3	211,79 ± 9,50	66,06	738,50 ± 0,88	260,61 ± 18,86
DM:ME-1:1	240,77 ± 4,61	99,96	666,00 ± 6,19	168,94 ± 15,71
ME-10	36,19 ± 1,66	1175,45	24,50 ± 9,72	55,33 ± 0,79

**C.de PEARSON**

FT	1	-0,96647	0,96935	0,90175
DPPH	-	1	-0,99209	-0,90257
FRAP	-	-	1	0,92778

**Fonte:** Autoria própria, 2022. Os resultados representam média ± desvio-padrão para FT, FRAP e ABTS e média para DPPH. HE-10: fração em hexano; DM-10: fração em diclorometano; DM:ME-7:3: fração em diclorometano/metanol na proporção 7:3; DM:ME-1:1: fração em diclorometano /metanol na proporção 1:1; ME-10: fração em metanol.

Os ensaios de quantificação de fenóis totais a partir do reagente Folin-Ciocalteu para as frações HE-10, DM-10, DM:ME-7:3, DM:ME-1:1 e ME-10 confirmaram a presença de substâncias fenólicas e seus teores, tendo sido observado altas concentrações de fenóis totais para as frações de média polaridade como DM-10, DM:ME-7:3 e DM:ME-1:1 com 269,55±1,52; 211,79±9,50 e 240,77±4,61 mg EAG.g<sup>-1</sup>, respectivamente.

Em comparação com os resultados obtidos por Souza et al. (2007) para os ensaios de quantificação do teor de fenóis totais do extrato da casca da espécie *Stryphnodendron adstringes* (barbatimão-verdadeiro), que apresentou um teor de: 75,09 ± 3,50% para a fração



EtOH 50;  $68,96 \pm 3,70\%$  para EtOH 70;  $72,89 \pm 1,00\%$  para Ac:H<sub>2</sub>O e  $1,82 \pm 0,50\%$  para CHCl<sub>3</sub>, os resultados obtidos para os extratos da casca do caule da espécie *G. augusta* se mostraram maiores nos extratos de média polaridade, enquanto que para os extratos da espécie *S. adstringes*, os maiores teores de fenóis totais foram encontrados nos extratos de maiores polaridades, como é o caso do EtOH 50, e menor teor de fenóis totais para o extrato mais apolar (CHCl<sub>3</sub>).

O barbatimão é uma planta medicinal reconhecida por suas propriedades cicatrizantes, rica em taninos e outros fenólicos, a qual pode ser usada como modelo de comparação para avaliar teor de compostos fenólicos e/ou taninos (MELLO et al., 1999). As espécies do gênero *Stryphnodendron* são chamadas de barbatimão e apresentam atividades biológicas como: antioxidante, cicatrizante, antimicrobiana e leishmanicida comprovadas (SOUZA et al. 2007; LOPES et al., 2005; LUIZE et al., 2005).

A atividade antioxidante (AA) das frações obtida no ensaio com radical DPPH foi expressa em CE<sub>50</sub> (μg.mL<sup>-1</sup>). A capacidade de sequestro de radicais DPPH foi maior para as frações DM-10 (131,71 μg.mL<sup>-1</sup>), DM:ME-7:3 (66,06 μg.mL<sup>-1</sup>) e DM:ME-1:1 (99,96 μg.mL<sup>-1</sup>), apresentando uma correlação com a quantidade de fenóis totais presentes nessas mesmas frações. No entanto, a fração DM:ME-7:3 foi a que apresentou o melhor CE<sub>50</sub> (66,0 μg.mL<sup>-1</sup>), representando a terceira maior fração em teor de fenóis totais. Isto indica que as substâncias fenólicas presentes nessa fração possuem maior capacidade de captura do radical DPPH.

Resultados semelhantes foram observados por Umaru et al. (2018) para os extratos de diferentes polaridades obtidos de duas espécies de Lecythidaceae, em que os melhores CE<sub>50</sub> foram obtidos para extratos em diclorometano e em metanol de cascas de caule de *Barringtonia asiatica*, CE<sub>50</sub> = 11,31 e 10,22 μg.mL<sup>-1</sup>, e *B. racemosa*, CE<sub>50</sub> = 11,32 e 10,22 μg.mL<sup>-1</sup>.

Quanto à captura de radicais ABTS, foi observado que os melhores resultados foram para as frações DM-10 e DM:ME-7:3, com  $266,72 \pm 14,14$  e  $260,61 \pm 18,86$  μM Trolox.g<sup>-1</sup>, respectivamente. Sendo estes o primeiro e terceiro extratos com a maior quantidade de fenóis totais presentes. Indicando, assim como para o ensaio com captura de radical livre DPPH, que

o conteúdo fenólico presente nesses extratos possui maior capacidade de captura do radical livre ABTS, não apresentando uma correlação exata com a captura de radical DPPH. Entretanto, observa-se que nos extratos com maiores quantidades de fenóis encontrados há maior atividade de captura dos radicais DPPH e ABTS.

No ensaio de capacidade de redução férrica realizado para as frações, usando o reagente TPTZ, foram alcançados os melhores resultados para as frações de DM-10 e DM:ME-7:3, com valores de  $751,00 \pm 0,88$  e  $738,50 \pm 0,88 \mu\text{M FeSO}_4 \cdot \text{g}^{-1}$ , respectivamente. Tais resultados estão em concordância com os obtidos para os ensaios de captura de radicais e mostram que a maior parte dos compostos com atividade antioxidante são de média polaridade; obtidos por fracionamento cromatográfico, usando diclorometano puro ou em misturas binárias com metanol.

O extrato em clorofórmio da casca do caule de *Careya arborea* (Lecythidaceae) foi o mais ativo em comparação aos extratos da madeira e das folhas em ensaios de poder de redução de íons férrico,  $252,44 \text{ mg TE/g}$ ; sequestro de óxido nítrico,  $140,86 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , e superóxido,  $152,38 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  (BAPIA et al, 2021).

A partir da análise dos valores de coeficiente de correlação de Pearson, é possível observar que para cada valor positivo e mais próximo de um, maior a correlação positiva entre as duas variáveis independentes. O conteúdo de fenóis totais presente em cada fração está diretamente relacionado ao potencial antioxidante das mesmas, uma vez que os fenóis presentes são os agentes promotores da atividade de sequestros radicalar ou de redução de íon metálico. O valor negativo que é observado para todas as correlações que envolvem a variável DPPH decorre da forma como os valores são expressos, ou seja, por  $\text{CE}_{50}$ , quanto menor o valor maior é a atividade da fração.

Como as frações DM-10 e DM:ME-7:3 foram as mais promissoras na avaliação antioxidante, as mesmas foram analisadas por cromatografia líquida de alta eficiência com detector UV-Vis e comparadas a padrões de ácidos fenólicos (ácido gálico, ácido protocatecuico, ácido cafeico e ácido cumárico) e flavonoides (rutina, quercetina, canferol rutenosideo, canferol e naringenina).

A comparação do tempo de retenção dos compostos presentes em ambas as frações permitiu a identificação do ácido cumárico ( $t_R = 16,31 \text{ min}$ ) e da naringenina ( $t_R = 45,55 \text{ min}$ )

na fração DM-10, enquanto que na DM:ME-7:3 foram identificados os ácidos, gálico (tR= 5,40 min), cafeico (tR= 13,13 min) e cumárico (tR= 16,31 min) e o flavonoide naringenina (tR= 45,55 min).

Ácidos fenólicos derivados de ácido cinâmico e benzoico foram identificados apenas em extratos de frutos de *G. augusta* (GARCÍA-TORRES *et al*, 2009). Contudo, esse é o primeiro relato desses compostos fenólicos nas cascas de *G. augusta*, bem como a primeira identificação de ácido gálico, ácido cumárico e a flavanona naringenina na espécie e gênero.

A presença desses compostos como constituintes majoritários nessas frações justifica a boa atividade antioxidante observada e corrobora com a identificação de frações bioativas das cascas do caule de *G. augusta*.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados comprovam a atividade antioxidante em todas as frações oriundas do extrato etanólico da casca do caule da espécie *G. augusta*, as quais estão correlacionadas a quantidade de compostos fenólico presentes em cada fração.

A partir dos ensaios de quantificação de fenóis totais foi possível verificar que substâncias fenólicas presentes no extrato etanólico das cascas do caule se concentraram nas frações de média polaridade.

Os ensaios com reagentes DPPH, FRAP e ABTS mostraram uma capacidade antioxidante satisfatória para as frações de média polaridade obtidas da casca da planta Jeniparana. Tais resultados corroboram seu potencial medicinal ligados à ação anti-inflamatória e leishmanicida citada na literatura, as quais possuem relação direta com o estresse oxidativo.

A identificação dos ácidos gálico, cumárico e cafeico juntamente com a naringenina nas frações DM-10 e DM:ME-7:3 corroboram o potencial bioativo das mesmas, assim como confere a espécie *G. augusta* e ao gênero *Gustavia* novas informações quanto sua composição química.

## REFERÊNCIAS

- ACD/ChemSketch for Academic**, version 2021.2.1, Advanced Chemistry Development, Inc., Toronto, ON, Canada, www.acdlabs.com, 2021.
- ALMEIDA, M. de F. O. et al. Constituintes químicos e atividades leishmanicida de *Gustavia elliptica* (Lecythidaceae). **Quím. Nova**, v. 34, n. 7, p. 1182-1187, 2011.
- AMORIM, A. F. V. **Métodos cromatográficos**. Fortaleza: Eduece, 2019.
- ARAÚJO, A. M. de; SALLES, H. O. Ensaio quantitativo para quantificação de saponinas. **Comunicado Técnico – Embrapa**, v. 202, p. 1-9, 2020.
- AZEEM, S. M. A.; MOHESEN, I. A. A.; IBRAHIM, A. M. H. Analysis of total phenolic compounds in tea and fruits using diazotized aminobenzenes colorimetric spots. **Food Chem.** n. 332, 2020.
- BAPIA, S. et al. Isolation of stigmasterol from Kra Don (*Careya arborea* Roxb.) and bioactivities of its crude extracts against free radicals and human immunodeficiency virus. **Agr. Nat. Resour.** v. 55, p. 33–42, 2021.
- CANASSA, T. A.; LAMONATO, A. L.; RIBEIRO, A. V. Utilização da lei de Lambert-Beer para determinação da concentração de soluções. **JETI**, v. 1, n. 2, p. 23-30, 2018.
- CARVALHO, P. E. R. Jequitibá – Branco. Circular técnica – Embrapa, n. 73, 2003.
- CICCO, N. et al. A reproducible, rapid and inexpensive Folin-Ciocalteu micro-method in determining phenolics of plant methanol extracts. **Microchem. J.**, v. 91, p. 107-110, 2009.
- COLLINS, C. H.; BRAGA G. L.; BONATO, P. S. **Introdução a métodos cromatográficos**. 7.ed. São Paulo: Editora da Unicamp, 1997.
- CORNEJO, X.; MORI, S. *Gustavia esmeraldana* and *G. gracieleae*: new species of Lecythidaceae from northwestern Ecuador and a key to species of *Gustavia* in Ecuador. **Phytotaxa**, v. 418, n. 1, p. 89-96, 2019.
- DEGANI, A. L. G.; CASS, Q. B.; VIEIRA, P. C. Cromatografia: um breve ensaio. **Qnesc**, Maio, n. 7, 1998, p. 21-25.
- DOI, E.; SHIBATA, D.; MATOBA, T. Modified colorimetric ninhydrin methods for peptidase assay. **Anal. Biochem.** v. 118, p. 173–184, 1981.
- EVERETTE, J. D. et al. Thorough study of reactivity of various compound classes toward the Folin-Ciocalteu reagent. **J. Agric. Food Chem.**, v. 58, n. 14, p. 8139-8144, 2010.
- FIDELIS, Q.C. **Outros constituintes isolados de espécies de *Ouratea*, estudo de *Ochna serrulata* e avaliação de atividades biológicas**. 2015. 251f. Tese. Doutorado em Química. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.

FLORA, S. J. S. Role of free radicals and antioxidants in health and disease. **Cell. Mol. Biol.**, v. 53, n. 1, p. 1-2, 2007.

GARCÍA-TORRES, D. E. G. et al. Actividade antioxidante de los extractores del chopé (*Gustavia augusta* L.). **Rev. Soc. Quím. Perú**, v. 75, n. 3, p. 374-381, 2009.

GRENAND, P. et al. **Pharmacopées traditionnelles en Guyane - Créole, Palikur, Wayãpi**. l'Orstom: Paris, 1987.

KRISHNAIAH, D.; SABATLY, R.; NITHYANANDAM, R. A review of the antioxidant potential of medicinal plant species. **Food Bioprod. Process.** n. 89, p. 217-233, 2011.

LANÇAS, F. M. **Cromatografia líquida moderna**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2016.

LOPES, G. C. et al. Influence of extracts of *Stryphnodendron polyphyllum* Mart. and *Stryphnodendron obovatum* Benth. on the cicatrisation of cutaneous wounds in rats. **J. Ethnopharmacol.** v. 99, p. 265–272, 2005.

LUIZE, P. S. et al. Effects of medicinal plant extracts on growth of *Leishmania (L.) amazonensis* and *Trypanosoma cruzi*. **Rev. Bras. Cienc. Farm.** v. 41, n. 1, p. 85-95, 2005.

LÓPEZ-ALARCÓN, C.; DENICOLA, A. Evaluating the antioxidant capacity of natural products: A review on chemical and cellular-based assays. **Anal. Chim. Acta**, v. 763, p. 1-10, 2013.

MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, G. et al. Mitos y realidades de la terapia antioxidante. Vimang: Nuevo Producto Natural antioxidante. Centro de química farmacêutica, Havana, 2003, p. 38.

MEDA, A. et al. Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. **Food Chem.** v. 91, p. 571–577, 2005.

MORI, S. A. et al. Evolution of Lecythidaceae with an emphasis on the circumscription of neotropical genera: information from combined NDHF and TRNL-F sequence data. **Am. J. Bot.** v.94, n. 3, p. 289-301, 2007.

MORI, S. Diversificação e conservação das Lecythidaceae neotopicas. **Acta bot. bras.**, v. 4, n. 1, p. 4 68, 1990.

NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **J. Chromatogr. A**, v. 1054, p. 95-111, 2004.

NAGEN, T. J.; ALBUQUERQUE, T. T. O.; MIRANDA, L. C. G. **Ácidos fenólicos em cultivares de soja: ação antioxidante**. **Arq. Biol. Tecnol.** Curitiba, v. 35, n. 1, p. 129-138, 1992.

NUR ALAM, M.; JAHANBRISTI, N.; RAFIQUZZAMAN, M. Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. **Saudi Pharm. J.** v. 21, p. 143-152, 2013.

PETTIT, G. R. et al. Isolation and structure of gustastatin from the Brazilian nut tree *Gustavia hexapetala*. **J. Nat. Prod.**, v. 67, p. 983-985, 2004.

PISOSCHI, A. M.; POP, A. The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. **Eur. J. Med. Chem.** v. 97, p. 55-74, 2015.

POOLE, C. F. **The essence of chromatography**. Elsevier Science, 2003.

REYES-MERA, J. J. et al. Chemical characterization, fatty acid profile and antioxidant activity of *Gustavia macarenensis* fruit mesocarp and its oil from the Amazonian region of Ecuador as an unconventional source of vegetable oil. **Grasas Aceites**, v. 70, n. 2, p. e298, 2019.

RUFINO, M. do S. M. et al. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP). **Comunicado Técnico on line – Embrapa**, n.125, p. 1-4, 2006.

RUFINO, M. do S. M. et al. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS. **Comunicado Técnico on line – Embrapa**, n. 128, p. 1-4, 2007a.

RUFINO, M. do S. M. et al. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Comunicado Técnico on line – Embrapa**, n.127, p. 1-4, 2007b.

SALGUEIRO, F. B. **Caracterização de méis Brasileiros: físico-química, perfil de substâncias polares, atividade antioxidante e quimiometria**. 2012. 124f. Mestrado em Química. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.


SILVEIRA, A. C. da et al. Método de DPPH adaptado: uma ferramenta para analisar atividade antioxidante de polpa de frutos da erva-mate de forma rápida e reprodutível. **Comunicado Técnico - Embrapa**, v. 421, p. 1-11, 2018.

SOUZA, A. D. L. et al. Constituintes químicos de *Gustavia augusta* L. (Lecythidaceae). **Quím. Nova**, Manaus, v. 24, n. 4, p. 439-442, 2001.

SOUZA, T. M. et al. Bioprospecção de atividade antioxidante e antimicrobiana da casca de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville (Leguminosae-Mimosoidae). **Rev. de Ciênc. Farm. Básica e Apl.** v. 28, n. 2, p. 221-226, 2007.

STRIEGEL, M. F.; HILL, J. **The-layer chromatography for binding media analysis**. Scientific tools for conservation, Los Angeles: Getty conservation Institute, 1996.

UMARU, I. J. et al. Phytochemical Evaluation and Antioxidant Properties of Three Medicinal Plants Extracts. **MACIJ**, v. 2, n. 2, p. 1-8, 2018.



WETTASINGHE, M.; SHAHIDI, F. Evening primrose meal: a source of natural antioxidants scavenger of hydrogen peroxide and oxygen-derived free radicals. **J. Agric. Food Chem.**, v. 47, n. 5, p. 1801-1812, 1999.

# CAPÍTULO 27

## DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS: EXPERIÊNCIAS REALIZADAS NA UFSM – FREDERICO WESTPHALEN/RS

**Sidnei Renato Silveira**  
**Adriana Sadowski de Souza**  
**Antônio Rodrigo Delepiane de Vit**  
**Guilherme Bernardino da Cunha**  
**Nara Martini Bigolin**

### RESUMO

Este capítulo apresenta alguns Sistemas Especialistas desenvolvidos pelo grupo de pesquisa IATE (Inteligência Artificial e Tecnologia Educacional) da UFSM (Universidade Federal de Santa Maria) – Campus Frederico Westphalen/RS. A equipe do grupo de pesquisa é composta por docentes do Departamento de Tecnologia da Informação e alunos dos Cursos de Bacharelado em Sistemas de Informação e de Licenciatura em Computação. Os Sistemas Especialistas tiveram seus desenvolvimentos acompanhados por especialistas das respectivas áreas, sendo implementados protótipos que foram testados e validados. Os resultados dos trabalhos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa têm sido divulgados em eventos e periódicos científicos, destacando a importância da implementação de Sistemas de Informação Inteligentes.


**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas Especialistas. Inteligência Artificial. Sistemas de Informação Inteligentes.

### INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta algumas experiências no desenvolvimento de Sistemas Especialistas, realizadas pelos integrantes do grupo de pesquisa IATE (Inteligência Artificial e Tecnologia Educacional) da UFSM – Universidade Federal de Santa Maria – Campus Frederico Westphalen – RS (IATE, 2022). Além do desenvolvimento de Sistemas Especialistas, tais como os apresentados neste capítulo, o grupo de pesquisa desenvolve estudos compreendendo a aplicação de TDICs (Tecnologias Digitais da Informação e da Comunicação) nos processos de ensino e de aprendizagem e a aplicação de outras técnicas de IA (Inteligência Artificial), tais como RBC (Raciocínio Baseado em Casos) (FERRARI *et al.*, 2019) e Redes Neurais Artificiais (VIEIRA, PARREIRA e SILVEIRA, 2016).

Os SEs (Sistemas Especialistas) foram implementados de acordo com a metodologia de pesquisa denominada de dissertação-projeto, pois foram desenvolvidos e testados protótipos dos sistemas. Segundo Ribeiro e Zabadal (2010), na metodologia de dissertação-projeto, “...o pesquisador caracteriza determinado problema de algum aspecto técnico. Destaca a relevância





de resolver esse problema. Desenvolve, então, um programa sistema ou mesmo um protótipo – para apresentar como prova de conceito da solução desse problema” (p. 96).

Nesse contexto, este capítulo apresenta, inicialmente, uma fundamentação teórica sobre os Sistemas Especialistas e, posteriormente, alguns dos SEs desenvolvidos pelo grupo de pesquisa IATE/UFSM.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Sistemas Baseados em Conhecimento (SBC) são sistemas que aplicam mecanismos automatizados de raciocínio para a representação e inferência de conhecimento. Um Sistema Baseado em Conhecimento, conhecido como Sistema Especialista (SE), é um sistema que reproduz o conhecimento de um especialista adquirido ao longo dos anos de trabalho. O *conhecimento especialista* envolve uma combinação de um entendimento teórico do problema com uma coleção de regras heurísticas para resolvê-lo, que demonstrou ser efetiva no domínio em questão. Durante o desenvolvimento de um SE, a aquisição e definição da forma de representação do conhecimento constituem-se em importantes fases, que são desenvolvidas pelo Engenheiro do Conhecimento, que é o profissional da área de Tecnologia da Informação responsável por estas atividades (FERNANDES, 2005; REZENDE, 2005; LORENZI; SILVEIRA, 2011).

Os SEs, para Teixeira (1998, p. 51), são "...solucionadores de problemas acoplados a imensos bancos de memória onde conhecimento humano acerca de uma determinada área ou disciplina encontra-se estocado". A construção de um SE parte do princípio de que a memória é condição necessária para a inteligência. Os SE encontram-se dentro do paradigma simbólico da IA, pelo fato de que é muito mais fácil construir um SE cujo domínio pode ser expresso por meio de símbolos.

Um dos problemas dos SEs é de como armazenar o conhecimento sobre uma determinada área de estudo. Devido a este problema surgiu o Engenheiro de Conhecimento, que é responsável pela interação entre o desenvolvimento do sistema e os especialistas humanos envolvidos. Segundo Teixeira (1998), a tarefa do Engenheiro de Conhecimento é a de extrair dos especialistas humanos seus procedimentos, estratégias e raciocínios, codificando-os de forma a gerar uma base de conhecimento. Esta base de conhecimento é o conhecimento acerca de uma área específica. A resolução de problemas é denominada mecanismo de inferência (ou máquina de inferência) (LORENZI; SILVEIRA, 2011).

Algumas críticas aos SEs envolvem a capacidade que este tipo de sistema teria de criar novos conhecimentos ou ideias. Gardner (2000) coloca que

"Existe uma tensão entre criatividade e perícia: certamente uma pessoa pode ser perita sem ser criativa; e, possivelmente, certa criatividade pode manifestar-se antes de ser determinado que aquela pessoa atingiu o nível de um mestre" (Gardner 2000 p. 51).

Isto se reflete em um SE: um SE pode possuir o conhecimento de um perito em uma determinada área específica, mas esse volume de conhecimento armazenado não possibilita a criação de novas ideias a partir das já existentes, ou seja, um SE não *aprende* e precisa ser constantemente alimentado com novos conhecimentos (LORENZI; SILVEIRA, 2011).

Uma das maiores dificuldades no desenvolvimento de um SE é a interpretação do conhecimento do especialista, para que o mesmo possa ser representado de forma adequada. Além disso, faz-se necessária a implementação de uma base de conhecimento dinâmica, que permita a inserção e alteração das informações por parte dos especialistas, sem que sejam necessárias modificações no código-fonte, já que essas modificações dependem da ação de um desenvolvedor de *software* (LORENZI; SILVEIRA, 2011).


Um SE é geralmente composto por (BARONE, 2003; FERNANDES, 2005):

- *Base de Conhecimento (BC)*: armazena os fatos e regras que compõem o processo de inferência (raciocínio) do especialista. A base de conhecimento deve ser composta por regras e procedimentos que o especialista utiliza para a solução dos problemas a que o sistema se propõe a solucionar. O conhecimento contido na BC deve ser de fácil manutenção para futuras modificações, já que o mesmo é um módulo separado da máquina de inferência;

- *Máquina de Inferência*: dispositivo que efetua consultas na base de conhecimento em busca de respostas, decidindo a ordem em que as inferências serão consideradas. Suas principais características dizem respeito às seguintes funcionalidades: método de raciocínio, estratégia de busca, resolução de conflitos, e representação de incertezas. As funções fundamentais da máquina de inferência são a inferência e controle. Quando o sistema é iniciado a máquina deve buscar na base de conhecimento fatos e regras e compará-los com as informações que foram fornecidas pelo usuário. A máquina de inferência utiliza-se de uma estratégia de controle que pode ser 1) *bottom-up* ou 2) *top-down*. 1) *Raciocínio para frente (bottom-up)*;

- *Subsistema de Aquisição de Conhecimento*: componente responsável pela inserção e manutenção do conhecimento;

- *Subsistema de Explicações*: deve informar e explicar ao usuário a linha de raciocínio utilizada pelo SE para chegar à conclusão do problema em questão. Por exemplo, em



determinada parte do caminho percorrido para resolução de um problema o sistema poderá solicitar ao usuário uma pergunta extra, o sistema de explicações deverá responder ao usuário o motivo pelo qual ele solicitou aquela informação;

- *Interface do usuário*: módulo que oferece comunicação e interação com o usuário. A interface exibe as perguntas, respostas e conclusões sobre o problema do domínio do sistema.

## **SISTEMAS ESPECIALISTAS IMPLEMENTADOS**


O Sistema Especialista para auxiliar no Diagnóstico de Depressão foi desenvolvido para atender uma necessidade de profissionais da Psicologia, permitindo um melhor acompanhamento de pessoas que apresentam depressão. O resultado final deste trabalho envolveu o desenvolvimento e implantação de um protótipo de um SE para Auxiliar no diagnóstico de depressão, disponibilizado para profissionais de Psicologia (PERUZZO *et al.*, 2019).

Para que o SE possa auxiliar no diagnóstico de depressão foram aplicados testes, definidos por uma especialista do domínio, uma Psicóloga. Após a realização dos testes e a sugestão do diagnóstico pelo SE, os pacientes diagnosticados de forma positiva são convidados a ter um acompanhamento especializado.

O desenvolvimento do protótipo de SE foi acompanhado, constantemente, pela profissional em Psicologia responsável pelo auxílio no desenvolvimento deste sistema, para que fossem realizadas correções, ajustes de detalhes e, também, para fazer uma validação de como a aplicação poderia beneficiar os profissionais desta área.

O funcionamento básico do SE se dá por meio de um questionário (anamnese), baseado nos sintomas, sentimentos, emoções, independente do tempo em que se apresenta ou se tenha percebido os sentimentos em que se assemelham em depressão. O SE não pretende substituir os profissionais da área de saúde, tampouco receitar medicamentos. A utilização do SE deve ser feita por especialistas da área de saúde, auxiliando-os a diagnosticar a depressão nos pacientes.

Inicialmente são contabilizadas as questões respondidas para cada uma das seguintes categorias: depressão, descontentamento com tudo, suicídio, insônia, agitação, ansiedade, sintomas gastrointestinais, impotência sexual, irritabilidade, raiva, desânimo, fraqueza, falta de apetite ou excesso, isolamento social (APA, 2014 citado por PERUZZO *et al.*, 2019).



Para representar o conhecimento do protótipo do SE implementado, utilizou-se a técnica de *frames*. Segundo Costa e Silva (2005), um *frame* é uma estrutura de dados complexa, capaz de modelar objetos do mundo real. As associações feitas entre as formas determinam suas estruturas hierárquicas. Cada uma dessas associações irá ligar um frame-pai ao filho. A hierarquia existente entre os frames permite um armazenamento abstrato dos dados, juntando propriedades comuns que são automaticamente herdadas, evitando, assim, a duplicação das informações e simplificando o código, o que proporciona uma fácil manutenção futura do sistema.

O processo de inferência do SE implementado é realizado com base em um algoritmo, levando-se em conta as respostas do paciente para o questionário desenvolvido pela especialista. O questionário é composto de uma quantidade de 32 questões, todas com três alternativas cada, excetuando-se a última questão. A última se diferencia das demais com as seguintes alternativas: duas semanas ou mais; durante dois anos ou mais; por mais de duas semanas, porém sinto de quatro a cinco sintomas mais diariamente. Já as demais perguntas do questionário apresentam as seguintes alternativas: sim; não; às vezes.

Os níveis de depressão possíveis de serem diagnosticados são os seguintes: depressão leve, depressão moderada e depressão grave. Para identificar os níveis de depressão citados, de acordo com as definições da Especialista da área de Psicologia, o questionário foi desenvolvido e é avaliado da seguinte forma:

- Depressão leve: de 2 a 4 questões respondidas com a alternativa *às vezes*;
- Depressão moderada: pelo menos 3 a 4 sintomas abrangentes e obrigatórios, respondidos com a alternativa *sim* e mais duas outras alternativas dentre 11 possíveis;
- Depressão grave: 5 sintomas obrigatórios mais 4 outros dentre 14 possíveis.

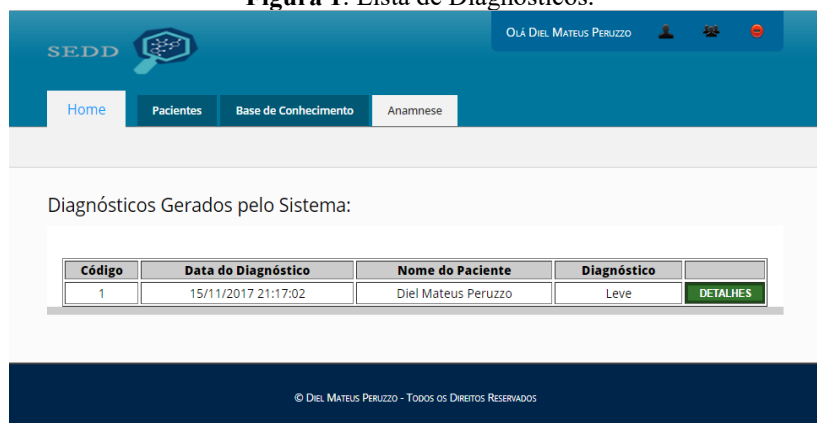
Este questionário foi desenvolvido pela especialista para suprir a necessidade deste protótipo, seguindo como referência o DSM V (Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais), pois os questionários existentes se limitam apenas ao uso de profissionais da área de Psicologia, passando pela aprovação do órgão regulamentador, não havendo tempo hábil suficiente para a conclusão deste protótipo.

Definiram-se as tecnologias PHP, *MySQL* por questões de domínio da linguagem e por se tratar de melhor adequação das tecnologias empregadas, voltados para a *web*, onde estas possibilitam maiores recursos para estas finalidades.

O SE desenvolvido permite a manutenção do cadastro de pacientes. Entretanto, a parte principal envolve a Base de Conhecimento. Na manutenção da Base de Conhecimento, para que a mesma seja dinâmica, é possível realizar o cadastro de novas perguntas e alternativas, assim como listar as perguntas cadastradas podendo realizar a edição ou exclusão das mesmas.

Após realizar todos os cadastros, os especialistas (Psicólogos) podem realizar a anamnese. A tela da anamnese permite o acesso ao questionário que será aplicado ao paciente pelo Psicólogo. Ao concluir a anamnese o Psicólogo deve clicar em finalizar questionário. Ao finalizar o questionário, o SE realiza a inferência, para gerar o diagnóstico. O algoritmo implementa a proposta da especialista do domínio, conforme destacado anteriormente. A Figura 1 apresenta a tela com a listagem dos diagnósticos gerados pelo SE para os pacientes.

**Figura 1:** Lista de Diagnósticos.



Código	Data do Diagnóstico	Nome do Paciente	Diagnóstico	
1	15/11/2017 21:17:02	Diel Mateus Peruzzo	Leve	DETALHES

**Fonte:** PERUZZO *et al.*, 2019.

Foram elaboradas e testadas, juntamente com a especialista que acompanhou o desenvolvimento do SE, diversas combinações de respostas para os diagnósticos possíveis, até que se chegou a uma solução genérica e que possa abordar um conjunto de respostas para representar os diagnósticos.

O *Ambiental Web* é um protótipo de SE, visando a auxiliar na análise de informações, proporcionando mais agilidade aos profissionais da área ambiental com especial interesse na obtenção de licenças ambientais florestais, seja em propriedades particulares ou em áreas de passeio público. As informações que compõem a base de conhecimento do SE compreendem as legislações ambientais nas esferas Municipal, Estadual e Federal, sob o ponto de vista e conhecimento do analista técnico ambiental (ALMEIDA, SILVEIRA & CUNHA, 2015).

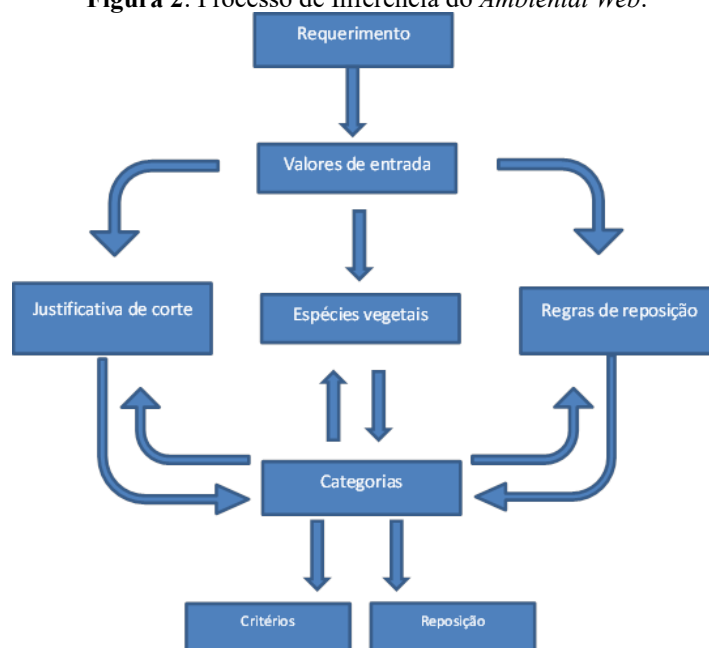
Por meio de entrevistas realizadas com um especialista da área de legislação ambiental, verificou-se que as regras de produção seriam a forma mais adequada para o desenvolvimento

do *Ambiental Web*, visto que o especialista utiliza-se do raciocínio “*se...condições... então... conclusões e ações.*” para chegar a um parecer técnico sobre as licenças ambientais.

Na implementação do protótipo aqui apresentado tratou-se apenas de um tipo de requerimento, que é a emissão de Alvará de Licenciamento Florestal para corte eventual de árvores. O SE foi desenvolvido com o auxílio de um especialista, Técnico do Departamento de Meio Ambiente, responsável pela fiscalização, laudos e licenças ambientais na Secretaria de Meio Ambiente de Frederico Westphalen-RS, que acompanhou o desenvolvimento do *Ambiental Web*. Com o apoio deste especialista, foram criados fluxogramas que delimitaram o domínio do sistema, permitindo a construção da base de conhecimento e definição do mecanismo de inferência do SE.

O especialista ou o usuário final, a partir do cadastro dos requerimentos, dispara o processo de inferência. Esse processo funciona por meio da comparação de todos os dados recebidos no requerimento, com as regras cadastradas. As regras são compostas de itens pré-definidos pelo especialista que, a partir do seu conhecimento técnico, informa ao sistema quais espécies de árvores são vulneráveis, quais requisitos são necessários, a lei e as justificativas que dão suporte ao corte, a quantidade e tipos de espécies de mudas que devem ser repostas. Como ponto de partida para implementar o processo de inferência, usamos os fluxogramas (roteiros) elaborados em conjunto com o especialista. A Figura 2 apresenta, de forma gráfica, como funciona o processo de inferência no *Ambiental Web*.

**Figura 2:** Processo de Inferência do *Ambiental Web*.



Fonte: ALMEIDA, SILVEIRA e CUNHA, 2015 .

Para desenvolver o *Ambiental Web* utilizou-se a linguagem de programação PHP, o gerenciador de Banco de dados *Mysql* para armazenar a base de conhecimento e o *framework Bootstrap*, que contém diversos componentes visuais desenvolvidos com CSS (*Cascade Style Sheet*) e bibliotecas implementadas em *JavaScript*. Para instalar o SE, faz-se necessário um servidor *web* que suporte as tecnologias citadas.

As regras de corte são justificadas com base legal, destacando em que hipóteses são admitidas o corte de determinada categoria de árvore. Com relação às regras de reposição, são definidas quantas mudas deverão ser repostas e se deverão ser da mesma espécie ou se podem ser de espécies variadas. Após as telas relacionadas à manutenção da base de conhecimento (categorias, regras de reposição, regras de corte e espécies), apresenta-se a tela a partir da qual é realizado um requerimento, que irá disparar o processo de inferência do SE. Por meio do formulário apresentado na Figura 3, o requerente informa os dados pessoais e de localização da propriedade onde estão as espécies que pretende cortar. Após, é preciso adicionar as espécies de árvores que serão cortadas.

**Figura 3:** Requerimento – Espécies.

Nome popular / científico	DAP	Altura	volume	Regra	fator	
Araucária / Araucária angustifólia	0.85	20	9.92534375	NATIVA - AMEAÇADAS	0.875	Excluir
Grápia / Apuleia leiocarpa	0.78	12	5.014737000000001	NATIVA - AMEAÇADAS	0.875	Excluir
Angico vermelho / Parapiptadenia rígida	0.5	12	2.060625	NATIVA - COMUM	0.875	Excluir

\* Reserva legal ou área de preservação permanente

Ambiental Web © 2015

**Fonte:** ALMEIDA, SILVEIRA e CUNHA, 2015.

Para informar as espécies, o usuário deve adicionar as espécies de árvores para corte, com base no cadastro de espécie que já estão pré-cadastradas na base de conhecimento do SE. É preciso informar a espécie, o DAP (diâmetro na altura do peito) e a altura de cada árvore. O relatório (resultado do processo de inferência - Figura 4) apresenta as informações de dados pessoais do solicitante, localização da propriedade e a lista de espécies solicitadas para corte, trazendo as justificativas com as regras de corte e as regras de reposição, incluindo a quantidade

e quais espécies de mudas devem ser repostas.

Após a implementação do *Ambiental Web*, foram realizados testes em situações reais do cotidiano. Para tanto, os técnicos ambientais da Prefeitura de Frederico Westphalen buscaram resultados de pareceres redigidos de forma manual e compararam com os resultados do sistema. Para refinar os resultados, os especialistas puderam modificar regras já existentes na base de conhecimento, além de criar novas regras, até conseguirem um resultado satisfatório.

**Figura 4:** Conclusão do Processo de Inferência.

The image shows a screenshot of a web application interface divided into two main sections: 'REGRAS DE CORTE' (Cutting Rules) and 'REGRAS DE REPOSIÇÃO' (Replacement Rules).

**REGRAS DE CORTE:**

- Para as seguintes espécies 'NATIVA - AMEAÇADAS' é necessário obedecer as seguintes regras para corte:**
  - Critérios Legal: Implantação de obras ou atividades de interesse público ou social
  - Conforme descrito na legislação supra citada existe previsão legal para manejo.
- Para as seguintes espécies 'NATIVA - COMUM' é necessário obedecer as seguintes regras para corte:**
  - Critérios Legal: Risco de queda
  - Com base na Lei Federal 12651
- Critérios Legal: Implantação de obras ou atividades de interesse público ou social**
  - Lei Federal 12651, Lei do Estado Rio grande do Sul - 9519

**REGRAS DE REPOSIÇÃO:**

- Para as seguintes espécies NATIVA - COMUM é necessário reposição das seguintes espécies:**
  - 15 mudas de qualquer espécie
- Para as seguintes espécies NATIVA - AMEAÇADAS é necessário reposição das seguintes espécies:**
  - 15 mudas de Grápia (*Apuleia leiocarpa*)
- Para as seguintes espécies NATIVA - AMEAÇADAS é necessário reposição das seguintes espécies:**
  - 15 mudas de Araucária (*Araucária angustifolia*)

**Fonte:** ALMEIDA, SILVEIRA e CUNHA, 2015.

O grupo de pesquisa IATE também atuou no desenvolvimento de um aplicativo *mobile*, que avalia a acessibilidade de Objetos de Aprendizagem. O desenvolvimento do aplicativo ocorreu por meio da utilização do *framework Ionic*, que possibilita compilar e/ou “empacotar” o aplicativo para utilização em diferentes sistemas operacionais, tais como *Android* e *iOS* (GUERRA *et al.*, 2020).

A avaliação da acessibilidade dos OAs é realizada por meio de um SE desenvolvido nas linguagens de programação *Javascript* e *TypeScript*, em conjunto com o *framework Angular*. O SE analisa os parâmetros extraídos dos OAs e compara o conteúdo com a base de conhecimento do SE, possibilitando, assim, mensurar a acessibilidade do OA. A base de conhecimento do SE foi organizada em *frames* (ou quadros), que são uma estrutura de informação que consiste em um conjunto de atributos que, por meio de seus valores, descrevem as características de um OA acessível (LORENZI, SILVEIRA, 2011). Cada *frame* armazena as características dos OAs, tais como: tipo de mídia utilizado, deficiência atendida, diretrizes e recomendação que foram seguidas no seu desenvolvimento, entre outras.

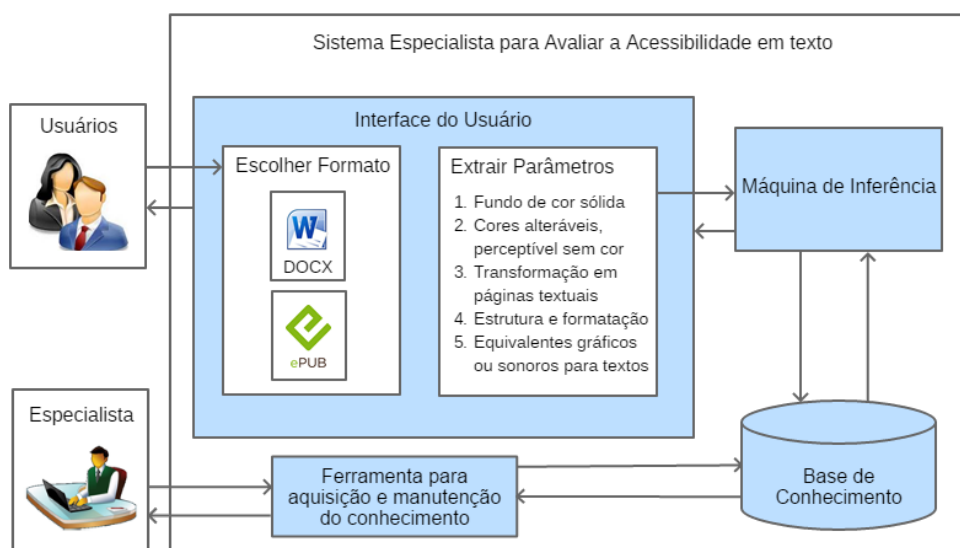


Inicialmente, o protótipo do aplicativo analisa OAs nos formatos DOCX e ePUB, por meio da análise do cabeçalho destes arquivos. Conforme Araújo *et al.* (ARAÚJO *et al.*, 2013 citados por GUERRA *et al.*, 2020) o formato ePUB é o formato padrão de publicações digitais, que possui padrão aberto e que utiliza: HTML5 (*HyperText Markup Language*), CSS (*Cascade Style Sheets*), SVG (*Scalable Vector Graphics*), imagens e outros recursos, para representar o conteúdo. O formato DOCX é o formato atual dos documentos elaborados por meio do *Microsoft Office*.


As recomendações de acessibilidade que foram seguidas no desenvolvimento do SE correspondem ao padrão internacional de Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo Web, WCAG (*Web Content Accessibility Guidelines*), versão 2.0 (2014), desenvolvido e mantido pela W3C (*World Wide Web Consortium*), principal entidade responsável pela padronização na *World Wide Web* (W3C, 2014), além das recomendações e diretrizes propostas por Macedo (2010).

A Figura 5 apresenta uma arquitetura de alto nível do aplicativo desenvolvido. A parte *Extrair Parâmetros* é realizada por meio de uma API desenvolvida, anteriormente, por demais integrantes do Núcleo de Acessibilidade Digital e Tecnologias Assistivas da UFSC (NADTA, 2019). Esta API recebe o arquivo (OA) enviado pelo aplicativo e armazena-o temporariamente no servidor para extrair os parâmetros, retornando-os para o aplicativo. Os parâmetros extraídos correspondem a uma organização hierárquica do tipo árvore, das *tags* extraídas dos arquivos nos formatos DOCX e ePub. Os parâmetros extraídos são salvos em um documento JSON que é lido pelo aplicativo desenvolvido.

**Figura 5:** Arquitetura de alto nível do Sistema Especialista para Avaliar a Acessibilidade em texto.



**Fonte:** GUERRA *et al.*, 2020.



A ideia foi a de criar um SE que possa ser utilizado em diferentes tipos de OAs, que utilizam diferentes mídias (textos, imagens estáticas, animações, tabelas, vídeos, áudio, etc). Apesar de o protótipo, inicialmente, só verificar a acessibilidade de textos, o SE foi modelado para armazenar conhecimento sobre OAs com outras mídias, visando sua flexibilidade de uso.

Dessa forma, foi possível desenvolver um aplicativo que permite que os OAs sejam cadastrados e a modelagem já prevê o uso de diferentes mídias, além do texto que é o foco do protótipo aqui apresentado.

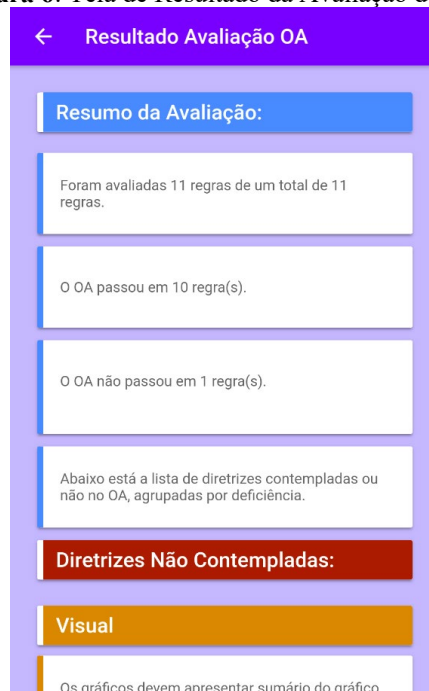
A máquina de inferência do SE verifica se todas as diretrizes e recomendações, de acordo com o tipo de mídia e deficiências estão sendo cumpridas, trazendo, como resultado, quais regras foram ou não cumpridas. As diretrizes adotadas no desenvolvimento do aplicativo seguem a proposta de Macedo (2010). A máquina de inferência faz a comparação dos atributos que estão armazenados na base de conhecimento, de acordo com as diretrizes e recomendações, com os parâmetros extraídos dos OAs, por meio da API externa mencionada anteriormente (NADTA, 2019).

A Figura 6 mostra um exemplo de resultado de avaliação de um OA, apresentando informações como:

- Regras/recomendações avaliadas: total de regras que se aplicam ao conteúdo e formato do OA;
- Quantidade de regras/recomendações que o OA atende: correspondendo a um contador das regras em que não foram encontrados problemas de acessibilidade na avaliação, conforme as diretrizes;
- Quantidade de regras que o OA não atende: representando um contador das regras não atendidas, que apresentam problemas de acessibilidade conforme as diretrizes;
- Diretrizes contempladas: compreendem todas as diretrizes em que não foram encontrados problemas, agrupadas por deficiência;
- Diretrizes não contempladas: compreendem todas as diretrizes não atendidas, que apresentam problemas de acessibilidade, também agrupadas por deficiência.

Após a implementação do protótipo do aplicativo, o mesmo foi testado com base em OAs dos tipos DOCX e *ePub*, localizados nos repositórios MERLOT (MERLOT.ORG, 2022) e Manancial (UFSM, 2022). Foram submetidos à avaliação do aplicativo desenvolvido 52 OAs, sendo 28 do tipo DOCX e 24 do tipo *ePub*, escolhidos aleatoriamente, nos repositórios citados.

**Figura 6:** Tela de Resultado da Avaliação do AO.



**Fonte:** GUERRA *et al.*, 2020.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das principais questões no desenvolvimento de SEs pelo grupo de pesquisa IATE/UFSM é a participação de especialistas do domínio. Sendo assim, todo o processo de desenvolvimento é acompanhado e validado por um ou mais especialistas, visando a certificar que o conhecimento inserido no SE, bem como o processo de inferência, é válido para a área abordada. Além disso, além da modelagem dos SEs, implementaram-se protótipos dos mesmos, para que fosse possível testar e validar as propostas. Outro aspecto importante é a divulgação dos SEs desenvolvidos em eventos e periódicos científicos.

Além dos Sistemas Especialistas aqui apresentados, o grupo de pesquisa IATE também tem atuado no desenvolvimento de Sistemas de Recomendação, tais como os trabalhos de Silveira & Prado (2015) e Garbin & Silveira (2017). Outro foco do grupo compreende Jogos Educacionais Digitais, especialmente empregando técnicas de Inteligência Artificial, tais como o trabalho desenvolvido por BASSO *et al.* (2016), que compreende um jogo educacional digital para alfabetização, empregando Redes Neurais Artificiais.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. R.; SILVEIRA, S. R.; CUNHA, G. B. Ambiental Web: Sistema Especialista para Apoio à Avaliação de Processos de Licenciamento Ambiental. **Anais do V EATI** –

**Encontro Anual de Tecnologia da Informação.** Disponível em: <http://2015.eati.info/assets/anais/Longos/L1.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2022.

BARONE, D. A. C. **Sociedades Artificiais.** Porto Alegre: Bookman, 2003.

BASSO, M.; KLISZCZ, S.; PARREIRA, F. J.; SILVEIRA, S. R. Jogo Educacional Digital para auxílio à Alfabetização utilizando Redes Neurais. **Revista EducaOnline.** Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 20-37, maio/ago. 2016.

COSTA, S. W.; SILVA, M. C. S. **Aquisição de Conhecimento:** o grande desafio na concepção de sistemas especialistas. 2005. UFRN. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/71/77/>. Acesso em: 15 mar. 2022.

FERRARI, R.; SILVEIRA, S. R.; FREITAS, E. P.; BERTOLINI, C. Ferramenta para Apoio ao Suporte Técnico em uma Rede FTTx empregando Raciocínio Baseado em Casos. **RSC – Revista de Sistemas e Computação,** v. 9, n. 1, 2019. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/rsc/article/view/5905>. Acesso em: 04 mar. 2022.

FERNANDES, A. M. R. **Inteligência Artificial:** noções gerais. Florianópolis: Visual Books, 2005.

GARBIN, M.; SILVEIRA, S. R. Sistema de Recomendação Mobile: um estudo de caso para delivery. **RESIGET – Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica,** v. 8, n. 1, 2017. Disponível em: <https://periodicos.unifacel.com.br/index.php/resiget/article/view/1463>. Acesso em: 15 mar. 2022.

GARDNER, H. **Inteligências Múltiplas:** a teoria na prática. Porto Alegre: Artmed, 2000.

GUERRA, P. A. C.; SILVEIRA, S. R.; BERTOLINI, C.; PARREIRA, F. J.; ULBRICHT, V. R. Aplicativo Mobile para avaliar a Acessibilidade de Objetos de Aprendizagem utilizando um Sistema Especialista. **Revista Educação Especial,** v. 33, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/educacaoespecial/article/view/42711>. Acesso em: 14 mar. 2022.

IATE. **Inteligência Artificial e Tecnologia Educacional:** grupo de pesquisa. 2022. Disponível em: <https://www.ufsm.br/pro-reitorias/prpgp/grupo-de-pesquisa/iate-ufsm/>. Acesso em 15 mar. 2022.

LORENZI, F.; SILVEIRA, S. R. **Desenvolvimento de Sistemas de Informação Inteligentes.** Porto Alegre: Editora UniRitter, 2011.

MACEDO, C. M. S. **Diretrizes para Criação de Objetos de Aprendizagem Acessíveis.** Florianópolis/SC: PPGECC/UFSC, 2010. Tese de Doutorado. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/94396>. Acesso em: 28 jun. 2019.

MERLOT.ORG. MERLOT. Disponível em: <https://www.merlot.org/merlot/index.htm>. Acesso em 15 mar. 2022.

NADTA. **Núcleo de Acessibilidade Digital e Tecnologias Assistivas:** grupo de pesquisa. Disponível em: <http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/58948>. Acesso em 29 jun. 2019.

PERUZZO, M.; SILVEIRA, S. R.; PARREIRA, F. J.; STOCK, T. P. Sistema Especialista para auxiliar no Diagnóstico de Depressão. **Revista Saúde.Com**, v. 15, n. 2, 2019. Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/rsc/article/view/4226>. Acesso em: 14 mar. 2022.

REZENDE, S. O. **Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações**. Barueri, SP: Manole, 2005.

RIBEIRO, V. G.; ZABADAL, J. **Pesquisa em Computação**. Porto Alegre: UniRitter, 2010.

SILVEIRA, S. R.; PRADO, K. S. Framework Genérico de Recomendação para Lojas Virtuais. **RCT – Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 1, n. 1, 2015. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/rct/article/view/2524>. Acesso em: 15 mar. 2022.

TEIXEIRA, J. F. **Mentes e Máquinas: uma introdução à ciência cognitiva**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998

UFSM. Universidade Federal de Santa Maria. **Manancial: Repositório digital da UFSM**. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br>. Acesso em: 15 mar. 2022.

VIEIRA, J. P.; PARREIRA, F. J.; SILVEIRA, S. R. Desenvolvimento de um Sistema para Auxílio ao Diagnóstico de Diabetes empregando Redes Neurais Artificiais (SADD). **RSC – Revista de Sistemas e Computação**, v. 6, n. 1, 2016. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/rsc/article/view/4148>. Acesso em: 04 mar. 2022.

W3C. **Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0**. 2014. Tradução Autorizada em Português do Brasil. Disponível em: <https://www.w3.org/Translations/WCAG20-pt-br/>. Acesso em: 04 mai. 2019.

# CAPÍTULO 28

## A INFLUÊNCIA MORFOLÓGICA DE ELETROFIAÇÕES DE VANADATO DE BISMUTO NA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE<sup>12</sup>

**Beatriz Caetano Benuto**  
**Caroline Santana dos Santos**  
**Roberto de Matos**

### RESUMO

A crescente demanda mundial de energia impulsionada pelos grandes centros urbanos e atividade industrial, e até mesmo conflitos geopolíticos em territórios detentores de recursos fósseis têm gerado a necessidade de novas tecnologias para geração de energia, principalmente para aquelas mais eficientes e limpas. Embora avanços consideráveis tenham sido feitos na busca por materiais fotocatalisadores mais eficientes, estáveis e de longa duração para geração de energia alternativa, como o hidrogênio, importantes desafios científicos ainda necessitam ser superados para permitir o uso prático destes materiais em larga escala. A produção de hidrogênio como fonte de energia limpa empregando fontes renováveis nunca esteve tão próxima. Diferentes estratégias têm sido adotadas buscando aumentar a eficiência de processos fotocatalíticos para geração de hidrogênio via *water splitting*. Uma alternativa frente à poluição ambiental e uma possível escassez de combustíveis fósseis. O uso de células fotoeletroquímicas (PEC) empregando óxidos metálicos semicondutores como fotoeletrodos tem despertado grande interesse, uma vez que, a eficiência de conversão de energia solar em hidrogênio empregando materiais nanoparticulados sob radiação no visível ainda estão em torno de 1%. O vanadato de bismuto ( $\text{BiVO}_4$ ) é um semicondutor fotoativado por luz visível e promissor para a geração de hidrogênio. Ele apresenta benefícios como baixo custo de produção, baixa toxicidade, alta fotoestabilidade, resistência à foto-corrosão e *band gap* reduzido com uma boa resposta à excitação de luz visível. No entanto, a rápida recombinação de portadores de carga pode restringir sua atividade fotocatalítica. Na última década, muitos estudos demonstraram que a morfologia tem grande influência no desempenho fotocatalítico dos materiais, seja na forma de nanopartículas, folhas, bastões, fitas, fios e nanotubos. A técnica de eletrofiação possibilita a obtenção de materiais com estrutura porosa e na forma de nanofibras, de composições variadas sustentada ou não por uma rede polimérica. A obtenção de materiais semicondutores com esta morfologia permite aumentar sua eficiência fotocatalítica, proporcionando um aumento na área fotoativa e de superfície, reduzindo a recombinação dos portadores de carga fotogerados e a energia de *band gap*. Diante destes fatos, apresentamos uma visão abrangente do desenvolvimento e influência da morfologia do  $\text{BiVO}_4$  obtido por eletrofiação frente à geração de hidrogênio via *water splitting*.

**PALAVRAS-CHAVE:** *electrospinning*, morfologia, nanofibras, semicondutor, *water splitting*.

---

<sup>12</sup> O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil


## INTRODUÇÃO

Num mundo cada vez mais globalizado, nota-se a integração de economias com a circulação de mercadorias e capitais, bem como recursos naturais para alimentação da matriz energética. A crescente demanda mundial de energia e até mesmo conflitos geopolíticos em territórios detentores destes recursos fósseis têm gerado alta de preços, impactos ambientais quanto a emissão de poluentes na atmosfera e, com isso, a necessidade de investimentos em fontes de energia limpas e renováveis (MOHSIN et al., 2022; YANG et al., 2021).

A energia solar é uma dessas fontes de energia limpa que pode inclusive viabilizar a produção do combustível hidrogênio pela reação de quebra das moléculas de água (em inglês, “*water splitting*”) por processo fotoeletroquímico. A geração de hidrogênio usando luz solar, uma fonte energética renovável e abundante, é considerada uma rota de produção de hidrogênio verde, com emissão zero de carbono quando comparada à geração a partir de gás natural, carvão e biomassa (DONG et al., 2022; KAKOULAKI et al., 2021).

Entre os sistemas, destaca-se o do tipo célula fotoeletroquímica (PEC, em inglês “*Photoelectrochemical cell*”), na qual são inseridos em um eletrólito, o eletrodo de referência, contra-eletrodo e eletrodo de trabalho constituído de um material semicondutor ativado pela luz. A absorção efetiva de energia proveniente da radiação eletromagnética, aliada a um potencial elétrico aplicado, geram portadores de carga conhecidos como par elétron/lacuna, tornando possível realizar processos como despoluição ambiental e a geração de H<sub>2</sub> (AHMED; DINCER, 2019; CHEN et al., 2018).

Infelizmente os materiais semicondutores empregados como fotocatalisadores ainda estão longe de atender a quesitos como alta atividade catalítica, principalmente sob radiação visível, estabilidade química e elétrica, alta durabilidade e baixo custo relativo. Sendo assim, novas estratégias para o desenvolvimento de catalisadores que atendam estas necessidades ainda são desejáveis. A composição dos fotocatalisadores é imprescindível para a efetiva separação do par elétron/lacuna, e a variação da morfologia influencia diretamente na cristalinidade, área específica e tempo de vida dos portadores de carga. A técnica de eletrofiação surge como uma alternativa versátil para sínteses desses materiais fotocatalisadores, com a possibilidade de se obter nanofibras contínuas de mesma composição ou junções com propriedades aprimoradas e ajustáveis. Além disso, a expansão relativamente fácil desse processo pode permitir a produção em larga escala desses materiais e introdução no mercado tecnológico (OPOKU et al., 2017; SUBIANTO; CORNU; CAVALIERE, 2017).



Neste capítulo de revisão apresentamos ao leitor estudos recentes de materiais baseados em eletrofiações de  $\text{BiVO}_4$  com aplicações fotoeletroquímicas promissoras para a produção de hidrogênio.

## MÉTODOS FOTOELETROQUÍMICOS PARA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO

O hidrogênio surge como combustível alternativo aos hidrocarbonetos provenientes de fontes fósseis devido ao potencial de obtenção por rotas renováveis, por sua pureza e eficácia de transformação em diferentes formas de energia para diversas aplicações (AHMED; DINCER, 2019; SORGULU; DINCER, 2018). A geração desse combustível dá-se a partir de uma ampla gama de recursos naturais nos quais está armazenado em grandes quantidades como água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), hidrocarbonetos (por exemplo, metano -  $\text{CH}_4$ ) e outras matérias orgânicas, por diferentes tecnologias de produção (SORGULU; DINCER, 2018; ZHIZNIN; VASSILEV; GUSEV, 2019). Todas essas tecnologias necessitam de energia e apresentam desafios quanto a sua complexidade técnica, viabilidade econômica, flexibilidade, confiabilidade, sustentabilidade e impactos ambientais. Recursos de energia renovável como solar, eólica, oceânica, geotérmica, biomassa e hidrelétrica podem ser usados para produzir hidrogênio, no entanto, o uso de cada recurso tem suas próprias vantagens, assim como desvantagens e desafios (BAYKARA, 2018).

A energia solar, fonte de energia extremamente abundante (produzindo  $3 \times 10^{24}$  Joules por ano) utilizada para a produção de hidrogênio é aplicada em métodos como fotoeletrolise, fotoeletroquímica, fotocatalise, fotobiologia e fotodegradação, sendo considerados mais sustentáveis em comparação à processos unicamente elétricos, fotônicos, térmicos ou biológicos (ACAR; DINCER, 2019; BRENNAMAN et al., 2016; RUTH et al., 2017). Os processos fotoeletroquímicos em especial baseiam-se no uso de eletrodos, comumente formados por ou contendo materiais semicondutores, cuja faixa energética conhecida por “*band gap*”, localizada entre as bandas de valência e de condução, torna possível intensificar a atividade catalítica do material ao se incidir luz sobre o sistema eletroquímico.

A absorção de fótons com energia igual ou superior à energia de “*band gap*” resulta na promoção de elétrons da banda de valência para a banda de condução com geração concomitante de lacunas na banda de valência (HAMDANI; BHASKARWAR, 2021). Semicondutores classificados como tipo *n* possuem elétrons em excesso na banda de condução, enquanto os semicondutores do tipo *p* possuem lacunas na banda de valência. Assim, semicondutores do tipo *n* são facilmente oxidados e os do tipo *p* reduzidos. Esta é a base para

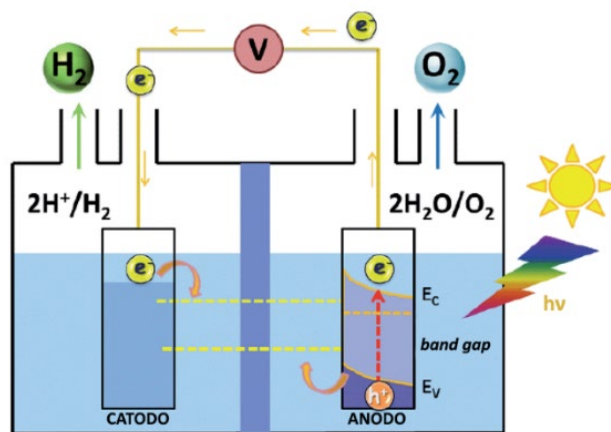


a conversão de energia por um processo fotoeletroquímico, pois os portadores de carga foto gerados migram para a interface semicondutor/eletrólito devido ao campo elétrico na camada de depleção formada nesta região de fronteira (AHMED; DINCER, 2019).

A célula fotoeletroquímica, PEC, é um tipo comum de sistema utilizado para a produção de hidrogênio decorrente da reação de quebra da água na presença de luz. Basicamente ela é constituída de ânodo, cátodo e eletrodo de referência conectados por circuito externo e imersos em recipiente contendo um eletrólito. A escolha dos materiais utilizados como eletrodos e do eletrólito é feita de forma que o potencial gerado sobre irradiação de luz seja maior que o potencial de oxidação da água ( $E_0 = 1,23 \text{ V vs NHE}$ ) (HAMDANI; BHASKARWAR, 2021; RUTH et al., 2017).

Os fotoeletrodos contendo materiais semicondutores em uma PEC podem atuar como cátodo ou ânodo. No caso de aplicação como fotoanodo, quando exposto à luz solar, ocorre excitação de elétrons que percorrem o sistema externo até atingirem o cátodo, deixando lacunas de cargas positivas para trás. Essas lacunas oxidam a água para produzir gás oxigênio, enquanto no cátodo os elétrons causam redução de água produzindo gás hidrogênio (HAMDANI; BHASKARWAR, 2021). A Fig. 1 mostra um sistema simplificado desses processos.

**Figura 1:** Célula fotoquímica usada para evolução de hidrogênio por quebra da água.



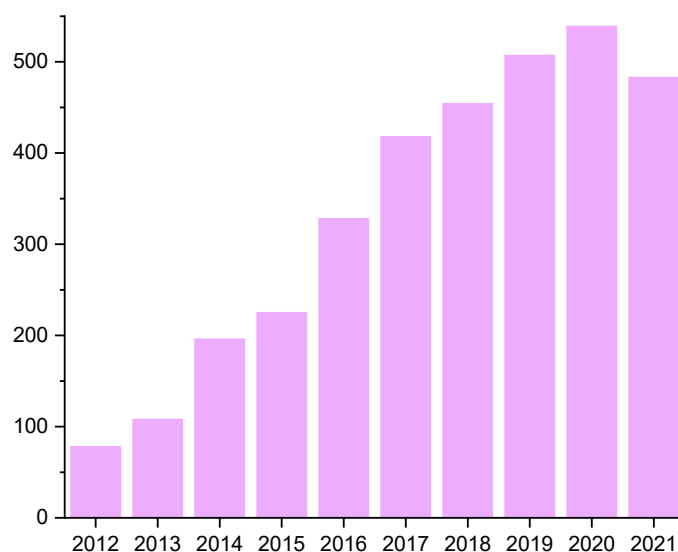
Fonte: Adaptada de BHATT; LEE, 2015.

Embora o objetivo deste processo seja produzir hidrogênio, a produção de oxigênio é uma ocorrência necessária para manter a reação. Como o fotoeletrodo (ânodo) cria oxigênio a uma taxa mais lenta do que o contra eletrodo (cátodo) que gera hidrogênio, o processo de conversão solar é limitado principalmente pela reação lenta no fotoanodo. Por esta razão, grande parte da pesquisa atual envolvida no avanço da tecnologia PEC concentra-se no desenvolvimento de novos semicondutores que possuem um *band gap* mais estreito para que

possam reagir a uma faixa mais ampla do espectro de luz, além de gerar portadores de carga de maneira mais efetiva, tornando o processo mais rápido e eficiente (HAIDER et al., 2020).

O potencial tecnológico e as possibilidades de otimização dos materiais aplicados em processos fotoeletroquímicos refletem o aumento considerável das publicações científicas com foco em evolução de hidrogênio, conforme demonstrado graficamente pela análise do banco de dados da plataforma *Web of Science* (Figura 2).

**Figura 2:** Distribuição de publicações científicas sobre evolução de hidrogênio por fotoeletroquímica.



**Fonte:** Pesquisa por “*photoelectrochemical hydrogen evolution*” em *Web of Science Core Collection*, (Autoria própria, 2022).

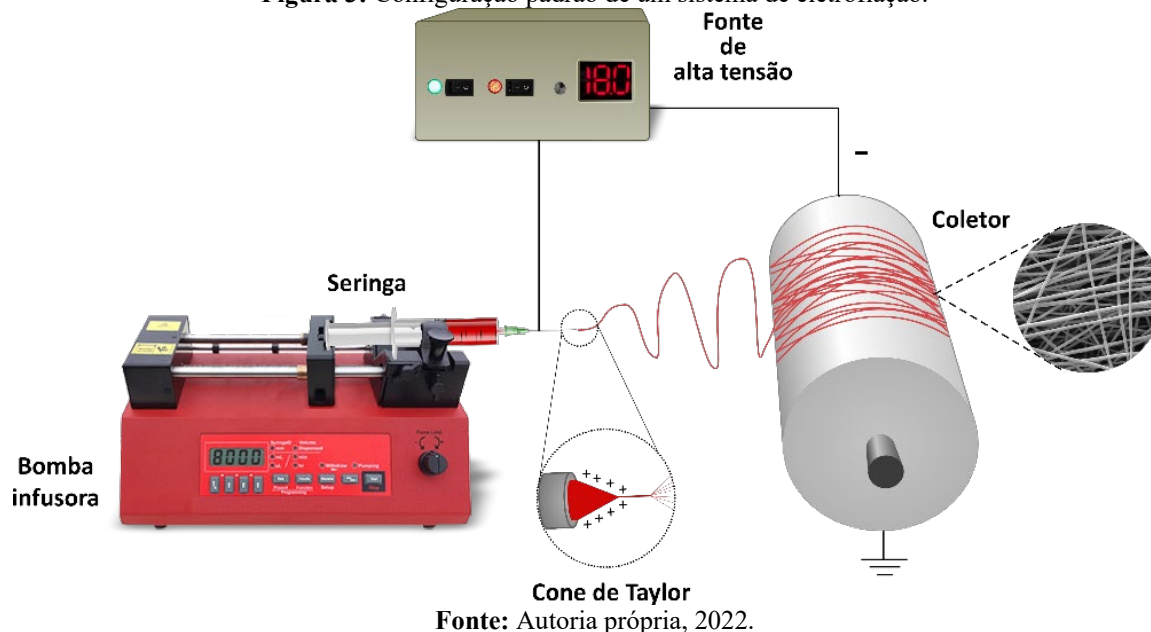
## FUNDAMENTOS DE ELETROFIAÇÃO

A eletrofiação (em inglês, “*electrospinning*”), apresenta grande potencial para a fabricação contínua de fibras com diâmetros submicrométricos para distintas aplicações, permitindo obter uma rede de fibras poliméricas e de óxidos metálicos com alto controle morfológico de uma maneira relativamente simples, rápida e de baixo custo (SANTANGELO, 2019).

Em resumo, o processo de eletrofiação consiste na aplicação de um elevado potencial elétrico (na ordem de kV) entre uma agulha metálica (eletrodo capilar) contida em uma seringa e uma placa metálica coletora. Na seringa é colocada a solução polimérica juntamente com o(s) material (is) de interesse. Esta então é bombeada de maneira controlada, partindo da ponta da agulha (cone de Taylor) até a placa coletora aterrada. Durante a trajetória o solvente deste jato é evaporado permitindo a formação de membranas nanofibrilicas. Na Figura 3 é mostrada a

configuração padrão de um sistema de eletrofiação formado por uma (ou mais) bomba infusora, seringa, fonte de alta tensão e coletor metálico.

Figura 3: Configuração padrão de um sistema de eletrofiação.



A formação uniforme das fibras com diâmetros desejados é totalmente dependente de parâmetros como diâmetro da agulha, tensão elétrica aplicada, viscosidade da solução, volatilidade do solvente, massa molar do polímero e distância entre a agulha e a placa coletora (ARAÚJO; NASCIMENTO; DE OLIVEIRA, 2013; ISMAIL et al., 2019; KHAJAVI; ABBASIPOUR, 2017; RWEI; HUANG, 2012).

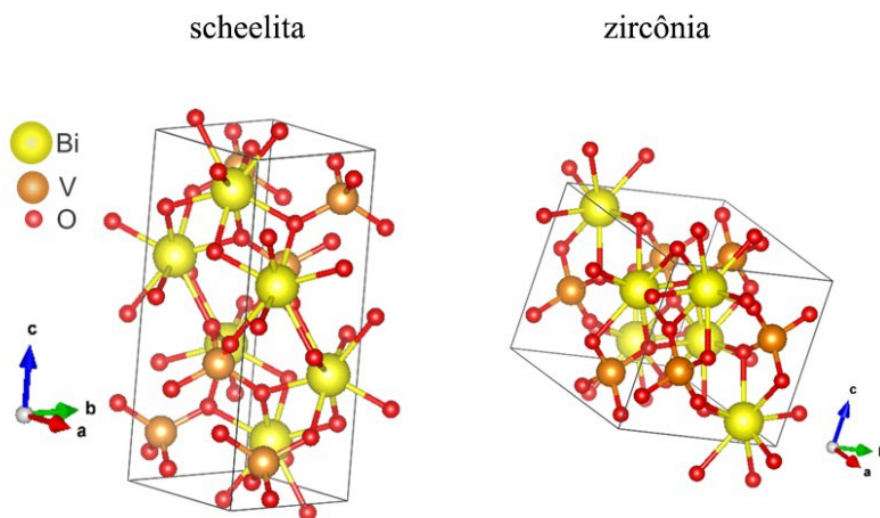
Obter materiais semicondutores nanoestruturados na forma de fios por eletrofiação possibilitou aumentar o desempenho fotocatalítico destes materiais frente a processos como despoluição ambiental e a geração de hidrogênio. Uma vez que, permite alterar propriedades químicas, elétricas, ópticas e texturais dos fotocatalisadores, favorecendo um aumento na sua atividade catalítica.

## VANADATO DE BISMUTO

Fujishima e Honda (1972) (FUJISHIMA; HONDA, 1972) foram pioneiros no estudo do material semicondutor  $\text{TiO}_2$  na área da fotoeletrocatalise, abrindo caminho para um novo campo de pesquisa altamente promissor no desenvolvimento de materiais para obtenção de energia limpa a partir da radiação solar e na fotoeletrodegradação de poluentes orgânicos. Entretanto, o alto valor de *band gap* (3,2 eV) (LÓPEZ; GÓMEZ, 2012; SARAF et al., 2017) reduz drasticamente sua eficiência fotocatalítica devido a absorção de luz ocorrer em comprimentos de ondas na região do ultravioleta (UV), região que corresponde apenas a 4% de toda a radiação

do espectro solar. Em 1998, Kudo e colaboradores (KUDO et al., 1998) realizaram um experimento que consistia na incidência de luz na região do visível (Vis) sobre o vanadato de bismuto ( $\text{BiVO}_4$ ) na presença de íons prata em solução aquosa e observaram a liberação de gás oxigênio. Esta reação deixou evidente a relação de excitação entre o material semiconductor na região do visível, atribuída diretamente ao seu favorável valor de *band gap* (entre 2,4 eV e 2,9 eV), propiciando a absorção de luz na região do visível, e desde então, a atividade fotocatalítica desse óxido tem sido amplamente estudada (KIM et al., 2018; LI et al., 2014; LIU et al., 2014; M. PIRES et al., 2020; MENG et al., 2021; SHAN; LIU, 2016; ZHAO; CHEN, 2017). As propriedades fotoeletrocatalíticas do  $\text{BiVO}_4$  estão intimamente ligadas às suas estruturas cristalinas, sendo possível realizar sua síntese na forma scheelita (monoclínica ou tetragonal) ou zircônia (tetragonal), representadas na Figura 4. Tais distinções acarretam uma diferença significativa nos valores de *band gap*, favorecendo a atividade fotocatalítica da fase monoclínica do tipo scheelita, de menor *band gap* (2,4 eV) (KUDO; OMORI; KATO, 1999; PACKIARAJ et al., 2018).

**Figura 4:** Estruturas cristalinas de  $\text{BiVO}_4$ .



Fonte: Autoria própria, 2022.

Apesar das vantagens do  $\text{BiVO}_4$  como fotocatalisador sob radiação visível, este não demonstra boa eficiência quando utilizado em sistemas PEC para geração de  $\text{H}_2$ , pois sua banda de condução não é mais negativa que o potencial redox da semi-reação  $\text{H}^+/\text{H}_2$  (WANG; HUANG; WANG, 2019), e seu reduzido valor de *band gap* gera uma indesejada recombinação rápida dos portadores de carga, diminuindo a cinética de oxidação da água (PRATOMO; PURNAMA; MULYANA, 2020). Devido a necessidade de melhorar o desempenho do  $\text{BiVO}_4$ , várias estratégias são adotadas a fim de controlar sua morfologia promovendo aumento da área

específica de facetas do tipo (010) com efetiva separação de cargas e menor recombinação (MENG et al., 2021), além da dopagem ou incorporação de outros semicondutores em junções como WO<sub>3</sub> e Ag<sub>2</sub>S (ORIMOLADE; AROTIBA, 2020; XU et al., 2018), ou co-catalisadores como CoFe-NH<sub>3</sub> derivado do corante azul da prússia (M. PIRES et al., 2020).

#### **CONTROLE MORFOLÓGICO DE MATERIAIS BASEADOS EM BiVO<sub>4</sub>**

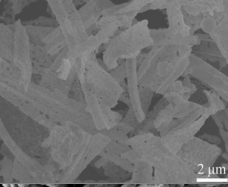
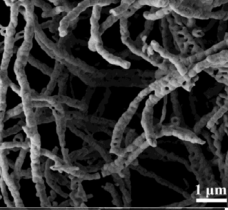
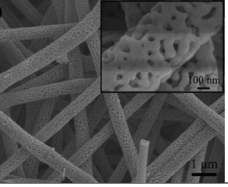
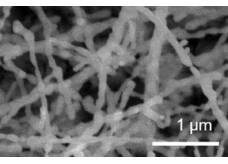
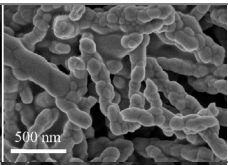
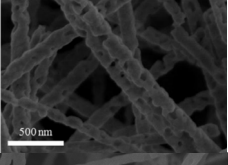
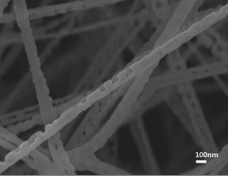
A otimização do desempenho fotoeletroquímico frente à influência morfológica de óxidos semicondutores foi observada por Zhao e Chen (ZHAO; CHEN, 2017) que sintetizaram BiVO<sub>4</sub> dopado com tungstênio (W), obtendo uma estrutura porosa com ganho de quase 50% de fotocorrente. Essa melhora foi atribuída ao aumento da absorção de luz e dos sítios de reação, assim como a separação de carga mais efetiva devido ao caminho de difusão para a superfície facilitada pelos poros. Visando a facilidade de aplicação e recuperação da estrutura de rede produzida por eletrofição e produção de partículas menores, pesquisadores sintetizaram materiais eletrofiados de BiVO<sub>4</sub> que, com a variação da morfologia e aumento da cristalinidade, obteve-se *band gap* mais amplo que o relatado em outras sínteses, gerando menor taxa de recombinação dos portadores de carga, e assim, maior eficiência fotocatalítica (LIU et al., 2014, 2015).

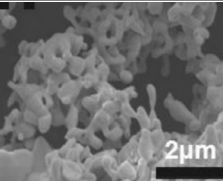
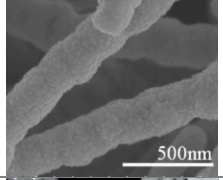
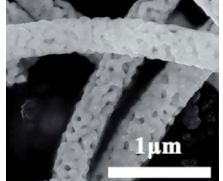
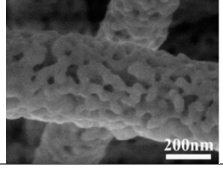
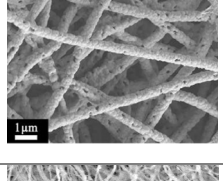
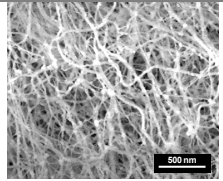
Diante dos trabalhos relatados, se justifica o interesse crescente pelo controle morfológico de vanadato de bismuto para aplicações fotoeletroquímicas, com destaque para a síntese dos materiais eletrofiados. A formação de uma rede de nanofibras possibilita ancorar semicondutores de interesse em sua matriz, que pode atuar como molde para modificação morfológica ou até mesmo aumentar a transferência de elétrons quando utilizados polímeros condutores. Na Tabela 1 são apresentados trabalhos de eletrofições de BiVO<sub>4</sub> contendo imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura dos materiais obtidos, assim como parâmetros de síntese e desempenho fotocatalítico.

Nos trabalhos revisados (Tabela 1), a formação da rede polimérica ocorre principalmente com a utilização do polímero PVP, possivelmente pela boa eletrofiabilidade e estabilidade diante dos solventes das soluções precursoras de BiVO<sub>4</sub> e, embora sejam utilizados reagentes de partida e tratamento térmico similares, foram obtidas nanofibras com porosidades e diâmetros diferentes. Essa característica pode ser atribuída à concentração da resina polimérica e solventes utilizados, que interfere diretamente em sua viscosidade e dimensionamento das nanofibras com a agregação das espécies formadoras do óxido semicondutor. Além disso, a etapa de calcinação reflete diretamente na cristalinidade do

material e, mesmo utilizando temperaturas iguais ou próximas, a simples variação na taxa de aquecimento do equipamento pode alterar o mecanismo de nucleação e formação do óxido durante o processo de síntese (KIAMA; PONCHIO, 2020).

**Tabela 1:** Revisão de fotocatalisadores eletrofiados de BiVO<sub>4</sub> (Continua).

Resina polimérica	Precusores de BiVO <sub>4</sub> e dopantes	Passos do tratamento térmico	Morfologia	Energia de <i>band gap</i>	Desempenho fotocatalítico	Referência
PVP/Ácido clorídrico e etanol	Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O e NH <sub>4</sub> VO <sub>3</sub>	500°C/1h		2,49 eV	Degradação de azul de metileno sob luz visível: 43% em 5h	(LIU et al., 2014)
PVP/Ácido clorídrico e etanol	Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O e NH <sub>4</sub> VO <sub>3</sub>	500°C/1h		2,46 eV	Degradação de azul de metileno sob luz visível: 87% em 4h	(LIU et al., 2015)
PVP/Ácido acético, etanol e DMF	Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O e VO(acac) <sub>2</sub>	500°C/1h		2,50 eV	Degradação de Rodamina B sob luz visível: 100% em 1h40m	(CHENG et al., 2013)
PVP/Ácido acético, etanol e DMF	Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O, VO(acac) <sub>2</sub> e Mo	500°C/1h		2,50 eV	Densidade de fotocorrente máx.: 0.174 mA.cm <sup>-2</sup> (1.5 V vs. RHE) sob luz solar simulada	(JUNG et al., 2016)
PVP/Ácido acético, etanol e DMF	Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O, C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>5</sub> V e Mo	450 °C/2h		n.i	Degradação de azul de metileno sob luz visível: 88,57% em 2h	(LIU et al., 2017)
PVP/Ácido acético, etanol e DMF	Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O, C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>5</sub> V e g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	450 °C/2h		n.i	Degradação de azul de metileno sob luz visível: 90% em 2h	(CHENG et al., 2017)
PVP/Ácido nítrico, amônia e etanol	Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O e NH <sub>4</sub> VO <sub>3</sub>	500°C/1h		2,58 eV	Degradação de Rodamina B sob luz visível: 100% em 40min	(CHENG ; FENG; PAN, 2015)

PVP/Ácido nítrico	$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ e $\text{NH}_4\text{VO}_3$	550°C/2h		2,47 eV	Degradação de azul de metileno sob luz visível: 100% em 1h40min	(WANG et al., 2016)
PVP/Ácido acético, etanol e DMF	$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , $\text{VO}(\text{acac})_2$ e CdS	500°C/2h		2,30 eV	Degradação de Rodamina B sob luz visível: 85% em 2h	(LIU et al., 2020)
PVP/DMF	$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , $\text{VO}(\text{acac})_2$ e $\text{Ag}_2\text{O}$	500°C/1h		n.i	Degradação de Rodamina B sob luz visível: 98,5% em 1h40min	(REN; ZHU, 2020)
PVP/Ácido acético, etanol e DMF	$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , $\text{VO}(\text{acac})_2$ e $\text{Ag}_2\text{O}$	500°C/1h		2,46 eV	Degradação de Rodamina B sob luz visível: 87,1% em 3h	(LIU et al., 2016)
PVP/Ácido acético, etanol e DMF	$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , $\text{VO}(\text{acac})_2$ e NiCo	550°C/2h		2,02 eV	Evolução de $\text{O}_2$ sob luz visível em $\text{AgNO}_3$ 0,1M: 443 $\mu\text{mol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$	(YU et al., 2019)
PVP/DMF	$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , $\text{VO}(\text{acac})_2$ e Au	500°C/1h		2,39 eV	Degradação de fenol sob luz visível: $2,12 \cdot 10^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$	(NALBANDIAN et al., 2015)

\* PVP= polivinilpirrolidona; DMF= dimetilformamida, n.i.= não informado.

Fonte: Autoria própria, 2022.

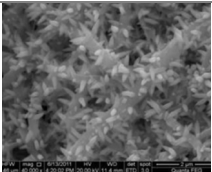
As estruturas mesoporosas das fibras sintetizadas aumentam a área específica e melhoram consideravelmente o desempenho fotocatalítico dos óxidos. As imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (Tabela 1) mostram essa estrutura sintetizada por Liu e colaboradores (LIU et al., 2016) pela adição de azodicarboxilato de diisopropil como agente espumante em concentração apropriada que desempenha um papel fundamental no crescimento de nanofibras de  $\text{BiVO}_4$  completamente mesoporosas. Com o mesmo propósito de obter estruturas porosas, outros trabalhos usaram da variação de temperatura. Segundo Cheng e colaboradores (CHENG et al., 2013), o aumento da temperatura de calcinação resulta no aumento simultâneo do tamanho das nanopartículas de  $\text{BiVO}_4$  e do tamanho dos poros nas fibras. O primeiro melhoraria a cristalinidade das nanopartículas de  $\text{BiVO}_4$  e o segundo diminuiria a área superficial das fibras porosas de  $\text{BiVO}_4$ , concluindo que a temperatura de calcinação tem importante influência no desempenho fotocatalítico. Na pesquisa de Wang e

colaboradores (WANG et al., 2016), a estrutura de BiVO<sub>4</sub> com alta porosidade foi obtida na decomposição e combustão lenta da matriz polimérica (PVP e HNO<sub>3</sub>) sob maior temperatura (550°C a 2°C/min). Esse processo produziu materiais com maior grau de cristalinidade e grande área superficial específica para melhor difusão das espécies durante a fotodegradação. Ren e Zhu (REN; ZHU, 2020) também obtiveram fibras porosas de BiVO<sub>4</sub> e atribuem essa característica à volatilização da matriz polimérica (PVP e DMF) durante o processo de calcinação. Nanopartículas de Ag<sub>2</sub>O foram reduzidas nessa estrutura porosa formando uma junção p-n que apresentou desempenho fotocatalítico aprimorado em função da morfologia e efeito sinérgico de nanopartículas de Ag<sub>2</sub>O e nanofibras de BiVO<sub>4</sub>, impedindo a recombinação dos portadores de carga.

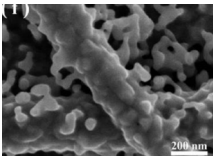
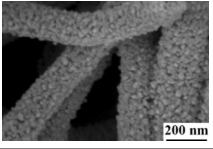
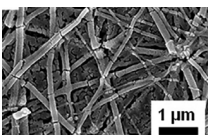
A formação de junções mostrou-se uma estratégia efetiva no aumento da atividade fotocatalítica de eletrofições de BiVO<sub>4</sub>. Cheng e colaboradores (CHENG; FENG; PAN, 2015) sintetizaram fibras compostas pela junção das fases monoclinica e tetragonal de BiVO<sub>4</sub>. A formação de sítios de captura de elétrons na estrutura diminuiu a recombinação do par elétron/lacuna, favorecendo a degradação fotocatalítica. A incorporação de dopantes na rede de nanofibras, como Mo, CdS, NiCo e Au, além de diminuir a recombinação melhoram a condutividade eletrônica (JUNG et al., 2016; LIU et al., 2017, 2020; NALBANDIAN et al., 2015; YU et al., 2019).

Há poucos trabalhos na literatura que realizaram eletrofições de BiVO<sub>4</sub> na última década, provavelmente pelos desafios envolvidos na mistura dos reagentes precursores das espécies iônicas Bi<sup>3+</sup> e (VO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup> para formação da resina polimérica de maneira estável com os solventes necessários. Mesmo assim, a vantagem do controle morfológico fornecida pela técnica de eletrofição fez com que novos materiais a base de BiVO<sub>4</sub> fossem sintetizados, incorporando os óxidos diretamente na resina polimérica, ou formando compósitos de semicondutores para ampliar suas características (XU et al., 2018). Na Tabela 2 são relatados esses trabalhos, com informação da matriz polimérica, composição formada, bem como imagem da morfologia e avaliação fotocatalítica.

**Tabela 2:** Revisão de fotocatalisadores eletrofiados de compósitos contendo BiVO<sub>4</sub>.

Resina polimérica	Composição final	Passos do tratamento térmico	Morfologia	Energia de <i>band gap</i>	Desempenho fotocatalítico	Referência
PVP/Ácido acético e etanol	TiO <sub>2</sub> / BiVO <sub>4</sub>	550 °C/2h 160 °C/24h (autoclave)		n.i	Degradação de Rodamina B sob luz visível: 92% em 4h	(GUO et al., 2016)



PVP/Ácido acético, etanol e DMF	WO <sub>3</sub> /BiVO <sub>4</sub>	500 °C/30min 500 °C/1h		2,34 eV	Densidade de fotocorrente máx.: 2,8 mA.cm <sup>-2</sup> (1,23 V vs. RHE) sob luz solar simulada	(XU et al., 2018)
PVP/Ácido acético e etanol	TiO <sub>2</sub> / BiVO <sub>4</sub>	500 °C/2h 160 °C/24h (hidrotermal)		2,93 eV	Degradação de Rodamina B sob luz visível: 95,7% em 3h30min	(MA; WEI, 2020)
PVAc/ Ácido acético e DMF	WO <sub>3</sub> /BiVO <sub>4</sub>	500 °C/3h 500 °C/3h		2,51 eV	Densidade de fotocorrente máx.: 0,04 mA.cm <sup>-2</sup> (0,7 V vs. Ag/AgCl) sob luz solar simulada	(CHOI et al., 2018)

\* PVP= polivinilpirrolidona; DMF= dimetilformamida, PVAc= poli(acetato de vinila), n.i.= não informado.

Fonte: Autoria própria, 2022.

## TENDÊNCIAS PARA ELETROFIAÇÕES COM VANADATO DE BISMUTO EM PEC

Apesar dos avanços significativos na aplicação de eletrofição para síntese de fotoeletrodos, apenas um pequeno número de polímeros foi testado para formação de nanofibras de BiVO<sub>4</sub>. Além disso, são necessárias pesquisas extensas para elucidação do mecanismo de transferência de calor e cristalização das estruturas eletrofiadas não só pelos parâmetros de calcinação, mas pelas concentrações de reagentes da resina polimérica precursora. Esses estudos podem trazer benefícios quanto às propriedades mecânicas, relação superfície-volume e porosidade, que foram amplamente explorados usando os sistemas poliméricos baseados em PVP. O desempenho eletroquímico dos eletrodos de nanofibras não depende apenas da composição química, mas também da morfologia, microestrutura (porosidade, tamanhos de partículas e conectividade de partículas) do eletrodo e o contato na interface eletrodo-eletrólito. Assim, consolidar esses parâmetros de síntese, estudar outras redes poliméricas, inclusive polímeros de origem natural, e incorporar materiais que ampliem as características de efetividade na transferência de carga de fotoeletrodos eletrofiados de BiVO<sub>4</sub> são etapas importantes para o futuro de dispositivos PEC mais eficientes.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo apresentamos uma visão abrangente de fotocatalisadores baseados em eletrofiações de  $\text{BiVO}_4$  ativos por luz visível desenvolvidos na última década. Como fotocatalisador, o  $\text{BiVO}_4$  tem muitas vantagens, como baixo *band gap*, baixo custo de produção, não tóxico e alta fotoestabilidade encontrando aplicações promissoras no campo da fotoeletrocatalise e, conseqüentemente, geração de hidrogênio em sistemas PEC. Focamos nos métodos de síntese por eletrofiação, controle da morfologia e melhoria da eficiência fotocatalítica. As principais observações foram: a eficiência fotocatalítica do  $\text{BiVO}_4$  pode ser melhorada pela morfologia. Neste intuito, vários modelos são usados para fabricar  $\text{BiVO}_4$  com uma morfologia controlada para obtenção de nanofibras. As nanofibras de  $\text{BiVO}_4$  com elevada porosidade mostraram alto desempenho fotocatalítico, atribuído a maior área de superfície, difusão rápida e eficaz de espécies iônicas em solução e mais sítios ativos para reação fotoeletrocatalítica. O acoplamento do  $\text{BiVO}_4$  com outros materiais semicondutores com *band gap* diferentes pode favorecer uma separação de carga mais rápida e eficiente, com redução na taxa de recombinação dos portadores de carga, o que permite a disponibilidade efetiva do par elétron/lacuna para as reações de interesse, levando a uma maior eficiência fotocatalítica. Verifica-se também que a cristalinidade e a calcinação têm fortes efeitos sobre a energia de *band gap*, diretamente ligada à eficiência fotocatalítica. Foram apresentados parâmetros direcionados à variação morfológica que podem ser extensivamente estudados para otimizar materiais baseados em eletrofiações de  $\text{BiVO}_4$ . Assim, o presente estudo pode direcionar pesquisas futuras capazes de produzir fotoeletrodos aplicados em sistemas PEC com grande potencial de geração de hidrogênio verde.

## REFERÊNCIAS

ACAR, C.; DINCER, I. Review and evaluation of hydrogen production options for better environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 218, p. 835–849, 2019.

AHMED, M.; DINCER, I. A review on photoelectrochemical hydrogen production systems: Challenges and future directions. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, n. 5, p. 2474–2507, 2019.

ARAÚJO, E. S.; NASCIMENTO, M. L. F.; DE OLIVEIRA, H. P. Influence of triton X-100 on PVA fibres production by the electrospinning technique. **Fibres and Textiles in Eastern Europe**, v. 100, n. 4, p. 39–43, 2013.

BAYKARA, S. Z. Hydrogen: A brief overview on its sources, production and environmental impact. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 43, n. 23, p. 10605–10614, 2018.

BHATT, M. D.; LEE, J. S. Recent theoretical progress in the development of photoanode materials for solar water splitting photoelectrochemical cells. **Journal of Materials Chemistry A**, v. 3, n. 20, p. 10632–10659, 28 maio 2015.

BRENNAMAN, M. K. et al. Finding the Way to Solar Fuels with Dye-Sensitized Photoelectrosynthesis Cells. **Journal of the American Chemical Society**, v. 138, n. 40, p. 13085–13102, 12 out. 2016.

CHEN, Q. et al. Tandem photoelectrochemical cells for solar water splitting. **Advances in Physics: X**, v. 3, n. 1, p. 1487267, 15 jan. 2018.

CHENG, J. et al. Facile synthesis of g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/BiVO<sub>4</sub> heterojunctions with enhanced visible light photocatalytic performance. **Ceramics International**, v. 43, n. 1, p. 301–307, 1 jan. 2017.

CHENG, J.; FENG, J.; PAN, W. Enhanced photocatalytic activity in electrospun bismuth vanadate nanofibers with phase junction. **ACS Applied Materials and Interfaces**, v. 7, n. 18, p. 9638–9644, 13 maio 2015.

CHENG, Y. et al. Preparation of porous BiVO<sub>4</sub> fibers by electrospinning and their photocatalytic performance under visible light. **RSC Advances**, v. 3, n. 43, p. 20606–20612, 21 nov. 2013.

CHOI, J. et al. WO<sub>3</sub> nanofibrous backbone scaffolds for enhanced optical absorbance and charge transport in metal oxide (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BiVO<sub>4</sub>) semiconductor photoanodes towards solar fuel generation. **Applied Surface Science**, v. 447, p. 331–337, 31 jul. 2018.

DONG, Z. Y. et al. A green hydrogen credit framework for international green hydrogen trading towards a carbon neutral future. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 47, n. 2, p. 728–734, 5 jan. 2022.

FUJISHIMA, A.; HONDA, K. Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode. **Nature**, v. 238, n. 5358, p. 37–38, jul. 1972.

GUO, Z. et al. One-dimensional spindle-like BiVO<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> nanofibers heterojunction nanocomposites with enhanced visible light photocatalytic activity. **Ceramics International**, v. 42, n. 3, p. 4517–4525, 15 fev. 2016.

HAIDER, Z. et al. Surface and bulk modification for advanced electrode design in photoelectrochemical water splitting. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 45, n. 10, p. 5793–5815, 21 fev. 2020.

HAMDANI, I. R.; BHASKARWAR, A. N. Recent progress in material selection and device designs for photoelectrochemical water-splitting. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 138, p. 110503, 1 mar. 2021.

ISMAIL, I. et al. Morphology and conductivity evaluation of electrospun polyacrylic acid (PAA) microfiber. **Materials Today: Proceedings**, v. 17, p. 574–583, 2019.

JUNG, H. et al. Electrospun Mo-doped BiVO<sub>4</sub> photoanode on a transparent conductive substrate for solar water oxidation. **Catalysis Communications**, v. 75, p. 18–22, 2016.

KAKOULAKI, G. et al. Green hydrogen in Europe – A regional assessment: Substituting existing production with electrolysis powered by renewables. **Energy Conversion and Management**, v. 228, 15 jan. 2021.

KHAJAVI, R.; ABBASIPOUR, M. Controlling nanofiber morphology by the electrospinning process. In: **Electrospun Nanofibers**. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 109–123.

KIAMA, N.; PONCHIO, C. Photoelectrocatalytic performance improvement of BiVO<sub>4</sub> thin film fabrication via effecting of calcination temperature strategy. **Surface and Coatings Technology**, v. 383, 15 fev. 2020.

KIM, M. W. et al. Tuning the morphology of electrosprayed BiVO<sub>4</sub> from nanopillars to nanoferns via pH control for solar water splitting. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 769, p. 193–200, 15 nov. 2018.

KUDO, A. et al. Photocatalytic O<sub>2</sub> evolution under visible light irradiation on BiVO<sub>4</sub> in aqueous AgNO<sub>3</sub> solution. **Catalysis Letters**, v. 53, p. 229–230, 1998.

KUDO, A.; OMORI, K.; KATO, H. A novel aqueous process for preparation of crystal form-controlled and highly crystalline BiVO<sub>4</sub> powder from layered vanadates at room temperature and its photocatalytic and photophysical properties. **Journal of the American Chemical Society**, v. 121, n. 49, p. 11459–11467, 15 dez. 1999.

LI, J. Q. et al. Effects of pH value on the surface morphology of BiVO<sub>4</sub> microspheres and removal of methylene blue under visible light. **Journal of Experimental Nanoscience**, v. 9, n. 6, p. 616–624, 2014.

LIU, B. et al. Preparation and characterization of Mo doped in BiVO<sub>4</sub> with enhanced photocatalytic properties. **Materials**, v. 10, n. 8, 21 ago. 2017.

LIU, G. et al. Synthesis of monoclinic BiVO<sub>4</sub> microribbons by sol-gel combined with electrospinning process and photocatalytic degradation performances. **Journal of Sol-Gel Science and Technology**, v. 70, n. 1, p. 24–32, 2014.

LIU, H. et al. Tailored Fabrication of Thoroughly Mesoporous BiVO<sub>4</sub> Nanofibers and Their Visible-Light Photocatalytic Activities. **ACS Applied Materials and Interfaces**, v. 8, n. 3, p. 1929–1936, 27 jan. 2016.

LIU, J. et al. Fabrication of novel fibrous BiVO<sub>4</sub>/CdS heterostructures by electrospinning method for efficient visible light photodegradation. **Materials Chemistry and Physics**, v. 247, 2020.

LIU, Z. et al. Preparation of bamboo-shaped BiVO<sub>4</sub> nanofibers by electrospinning method and the enhanced visible-light photocatalytic activity. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 651, p. 29–33, 23 ago. 2015.

LÓPEZ, R.; GÓMEZ, R. Band-gap energy estimation from diffuse reflectance measurements on sol-gel and commercial TiO<sub>2</sub>: A comparative study. **Journal of Sol-Gel Science and Technology**, v. 61, n. 1, p. 1–7, 2012.

M. PIRES, B. et al. Ligand Effects of Penta- And Hexacyanidoferrate-Derived Water Oxidation Catalysts on BiVO<sub>4</sub>Photoanodes. **ACS Applied Energy Materials**, v. 3, n. 9, p. 8448–8456, 2020.

MA, C.; WEI, M. BiVO<sub>4</sub>-nanorod-decorated rutile/anatase TiO<sub>2</sub> nanofibers with enhanced photoelectrochemical performance. **Materials Letters**, v. 259, 15 jan. 2020.

MENG, S. et al. The effect of potassium chloride on BiVO<sub>4</sub> morphology and photocatalysis. **Journal of Solid State Chemistry**, v. 302, 1 out. 2021.

MOHSIN, M. et al. Assessing the effects of fuel energy consumption , foreign direct investment and GDP on CO<sub>2</sub> emission : New data science evidence from Europe & Central Asia. **Fuel**, v. 314, n. January, p. 123098, 2022.

NALBANDIAN, M. J. et al. Synthesis and optimization of BiVO<sub>4</sub> and co-catalyzed BiVO<sub>4</sub> nanofibers for visible light-activated photocatalytic degradation of aquatic micropollutants. **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**, v. 404–405, p. 18–26, 2015.

OPOKU, F. et al. Recent Progress in the Development of Semiconductor-Based Photocatalyst Materials for Applications in Photocatalytic Water Splitting and Degradation of Pollutants. **Advanced Sustainable Systems**, 2017.

ORIMOLADE, B. O.; AROTIBA, O. A. Towards visible light driven photoelectrocatalysis for water treatment: Application of a FTO/BiVO<sub>4</sub>/Ag<sub>2</sub>S heterojunction anode for the removal of emerging pharmaceutical pollutants. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1–13, 2020.

PACKIARAJ, R. et al. Structural and electrochemical studies of Scheelite type BiVO<sub>4</sub> nanoparticles: synthesis by simple hydrothermal method. **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, v. 29, n. 15, p. 13265–13276, 1 ago. 2018.

PRATOMO, U.; PURNAMA, I.; MULYANA, J. Y. Photo-induced water oxidation via cascade charge transfer on nanostructured BiVO<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> modified with dye and co-catalyst molecules. **Inorganica Chimica Acta**, v. 500, n. October 2019, 2020.

REN, J.; ZHU, Y. Ag<sub>2</sub>O-decorated electrospun BiVO<sub>4</sub> nanofibers with enhanced photocatalytic performance. **RSC Advances**, v. 10, n. 10, p. 6114–6120, 2020.

RUTH, J. D. et al. An overview of photoelectrochemical cells (PEC): Mimicking nature to produce hydrogen for fuel cells. **Conference Proceedings - IEEE SOUTHEASTCON**, 2017.

RWEI, S. P.; HUANG, C. C. Electrospinning PVA solution-rheology and morphology analyses. **Fibers and Polymers**, v. 13, n. 1, p. 44–50, 2012.

SANTANGELO, S. **Electrospun nanomaterials for energy applications: Recent advances** Applied Sciences (Switzerland)MDPI AG, , 2019.

SARAF, S. et al. Photoelectrochemical analysis of band gap modulated TiO<sub>2</sub> for photocatalytic water splitting. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 42, n. 15, p. 9938–9944, 2017.

SHAN, L.; LIU, Y. Er<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup>-doping induced core-shell structured BiVO<sub>4</sub> and near-infrared photocatalytic properties. **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**, v. 416, p. 1–9, 2016.

SORGULU, F.; DINCER, I. A renewable source based hydrogen energy system for residential applications. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 43, n. 11, p. 5842–5851, 2018.

SUBIANTO, S.; CORNU, D.; CAVALIERE, S. **Electrospinning for advanced energy and environmental applications**. [s.l.] Taylor & Francis, 2017.

WANG, M. et al. Open porous BiVO<sub>4</sub> nanomaterials: Electrospinning fabrication and enhanced visible light photocatalytic activity. **Materials Research Bulletin**, v. 74, p. 258–264, 2016.

WANG, Z.; HUANG, X.; WANG, X. Recent progresses in the design of BiVO<sub>4</sub>-based photocatalysts for efficient solar water splitting. **Catalysis Today**, v. 335, p. 31–38, 1 set. 2019.

XU, S. et al. One-dimensional WO<sub>3</sub>/BiVO<sub>4</sub> heterojunction photoanodes for efficient photoelectrochemical water splitting. **Chemical Engineering Journal**, v. 349, p. 368–375, 2018.

YANG, J. et al. The competing role of natural gas and oil as fossil fuel and the non-linear dynamics of resource curse in Russia. **Resources Policy**, v. 72, n. March, p. 102100, 2021.

YU, M. et al. Synthesis and characterization of mesoporous BiVO<sub>4</sub> nanofibers with enhanced photocatalytic water oxidation performance. **Applied Surface Science**, v. 481, p. 255–261, 1 jul. 2019.

ZHAO, X.; CHEN, Z. Enhanced photoelectrochemical water splitting performance using morphology-controlled BiVO<sub>4</sub> with W doping. **Beilstein Journal of Nanotechnology**, v. 8, n. 1, p. 2640–2647, 2017.

ZHIZNIN, S. Z.; VASSILEV, S.; GUSEV, A. L. Economics of secondary renewable energy sources with hydrogen generation. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, n. 23, p. 11385–11393, 2019.

# CAPÍTULO 29

## APROVEITAMENTO DA BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA PARA OBTENÇÃO DE METIL LEVULINATO: PRODUÇÃO CIENTÍFICA, SÍNTESE E ENSAIOS PRELIMINARES

Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva  
Poliana Pinheiro da Silva  
Eduardo Lins de Barros Neto

### RESUMO


O aproveitamento da biomassa lignocelulósica é uma alternativa sustentável à indústria petrolífera na produção de químicos sustentáveis. O Metil Levulinato (ML) é um dos estes levulínicos que vem sendo estudado para o emprego com aditivo de combustíveis. Na primeira etapa do estudo, foi realizado um levantamento bibliométrico por meio de busca nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*, identificando artigo a tendencia de crescimento da produção científica com interesse na síntese desse produto. A partir da análise dos trabalhos publicados foram identificados: principais rotas de produção, fatores que detinham influência, catalisadores em uso e indicação de pesquisas futuras. Diante disso, foram realizados estudos experimentais preliminares da síntese do ML esterificação do Ácido Levulínico no metanol (MeOH) empregando o sulfato de alumínio -  $Al_2(SO_4)_3$  como catalisador. As reações foram realizadas nas temperaturas de 170°C, com tempo variando entre 30 e 180 minutos. Foi comprovada a eficiência do  $Al_2(SO_4)_3$ , atingindo conversão máxima de 90% a 170°C com 3 horas de reação. A carga de catalisador afetou negativamente a reação. A relação entre a razão molar e o tempo também apresentaram influência significativa na síntese do ML nas condições estudadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Éster levulínico; Catálise heterogênea; Conversão da biomassa.

### INTRODUÇÃO

O biorrefinamento é considerado o processamento sustentável e sinérgico de biomassa em ingredientes e produtos comercializáveis produtos úteis de alto valor agregado (alimentos, rações, materiais, produtos químicos) e energia (combustíveis, energia, calor) (REE; ZEELAND, 2014). Disponível a partir de recursos naturais, alternativamente, a biomassa pode ser obtida a partir de diversas fontes de resíduos como resíduos agrícolas (espiga de milho, casca de arroz bagado da cana-de-açúcar), resíduos sólidos urbanos (RSU) e resíduos industriais, tais como fábricas de papel e celulose (TAKKELLAPATI; LI; GONZALEZ, 2018).

As instalações avançadas são preparadas para transformar diversas matérias-primas em valiosos produtos químicos e uma das mais promissoras plataformas químicas obtidas da biomassa lignocelulósica é o Ácido Levulínico (AL). Aparece no Top 10 da lista de Bloco de Construção Química (*Block Building-BB*) da Agência Americana de Eficiência Energética e



Energia Renováveis (BOZELL; PETERSEN, 2010). O potencial de produtos obtidos a partir do AL é amplo e dentre eles estão os Ésteres Levulínicos (ELs). O recente aumento dos dados da literatura relativos aos levulinatos alquílicos confirma o potencial de geração de classe de compostos de origem biológica que podem participar no desenvolvimento de uma química verde e sustentável (DÉMOLIS; ESSAYEM; RATABOUL, 2014). Os ésteres de AL ganharam muito interesse como aditivos combustíveis devido as suas propriedades: não toxicidade, alta lubricidade e estabilidade do ponto de inflamação (ALTUNTEPE et al., 2017).

O Metil Levulinato (ML) pode ser produzido diretamente do AL, a partir da celulose, dos açúcares da fração hemicelulósica, dos produtos intermediários das reações e de resíduos agrícolas e industriais. De acordo com Démolis; Essayem e Rataboul (2014) e Ren et al. (2016), a catálise ácida como preponderante no processo de conversão.

As maiores conversões nas reações de ácido carboxílicos com álcool são obtidas na presença de ácidos minerais homogêneos ou com catalisadores heterogêneos (PILEIDIS e TITIRICI, 2016). catálise homogênea exige altas pressões e temperaturas, já o emprego da catálise heterogênea apresenta maior eficiência energética e ambiental (CHEN et al. 2018). O sulfato de alumínio tem sido apontado como um catalisador estável, eficiente, barato e reciclável na conversão de glicose, frutose, celobiose e espiga de milho (ZHOU et al., 2019). A sua capacidade de atuação como Ácido de Lewis e Brønsted simultaneamente favorece a isomerização da glicose em frutose e a desidratação da frutose em ML (ZHOU et al. 2014)

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo uma apresentação geral sobre a obtenção do ML a partir da biomassa lignocelulósica, realizado por meio de uma análise bibliométrica, um mapeamento da revisão de literatura e de estudos experimentais preliminares utilizando o sulfato de alumínio como catalisador para produção do ML na reação de esterificação do AL comercial com o metanol.

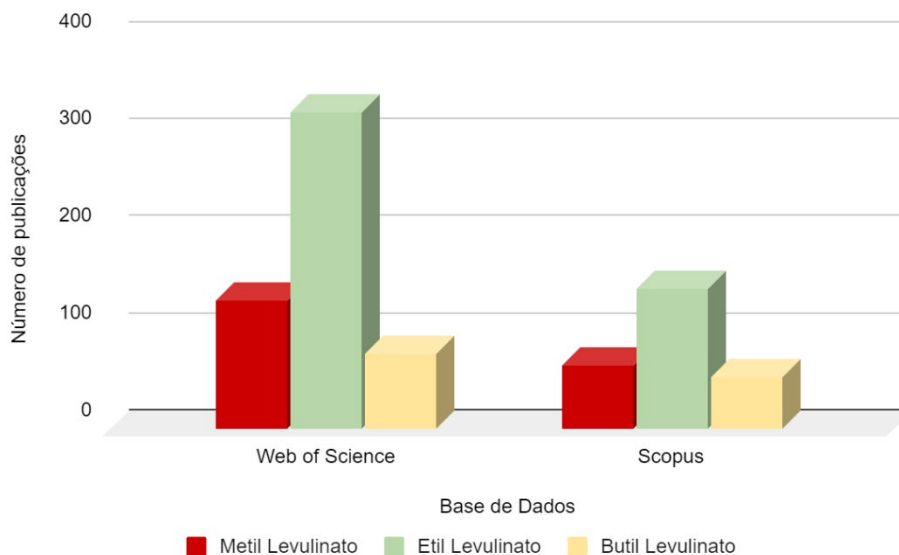
## **ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA**

De forma exploratória foi realizada uma busca inicial no portal periódico CAPES sobre relacionadas aos ésteres levulínicos metil (ML), etil (EL) e butil (BL). Foram realizadas buscas nas bases de dados Web of Science e Scopus. Foi detectado que o número de estudos publicados segue a seguinte ordem: EL, ML e BL (Figura 1). Provavelmente, o reflexo do número de estudos para outros ésteres levulínicos deve-se as propriedades que conferem potencial uso como aditivo em biocombustíveis (LOMBA et al., 2013). Verifica-se, portanto, o interesse das



pesquisas então voltados para a obtenção do etil levulinato e butil levulinato a partir da esterificação do AL, sendo importante aumentar as informações acerca da produção do ML.

**Figura 1:** Produção científica relacionadas ao aproveitamento da biomassa para produção de Ésteres Levulínicos.



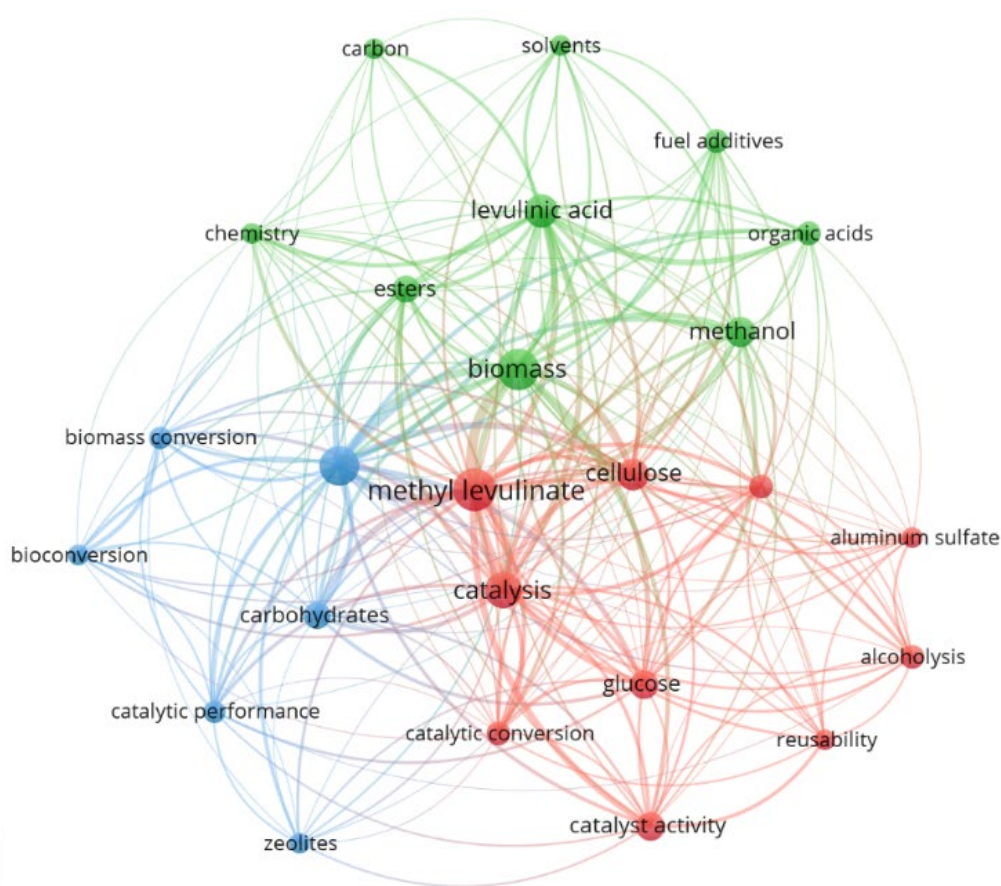
**Fonte:** O autor, 2021.

Afunilando as buscas sobre o ML, foram testados os buscadores: "BIOMASS" AND "METHYL LEVULINATE". As respostas indicaram um aumento da produção científica a partir de 2011 e, além disso, que o ML estava sendo requerido como matéria-prima para conversão em  $\gamma$ -valerolactona (GVL). Como o presente estudo tem foco na síntese do ML para aplicação em biocombustíveis, o termo de busca a ser trabalho foi adotado, para ambas as bases de dados foi: "BIOMASS" AND "METHYL LEVULINATE" NOT "VALEROLACTONE". Nessa pesquisa foram encontrados 196 documentos, foi possível verificar quais palavras-chaves predominavam na literatura científica, conforme apresentada na Figura 2. Com destaque para os termos: Zeólitas, Solventes, Reusabilidade (catalisador); Temperatura de reação; Ácidos Orgânicos; Glicose; e Aditivos para combustíveis.

Dos resultados das buscas, 15 artigos foram selecionados para investigação aprofundada, que permitiram identificar quais fatores que afetam as reações químicas de síntese do ML a partir da biomassa. Os parâmetros foram: temperatura; tempo; tipo e quantidade de catalisador, a relação entre a quantidade de Metanol e o substrato. A reação de esterificação do AL e Metanol (MeOH) é reversível, assim o excesso de álcool em relação ao ácido desloca a reação para formação do éster. A temperatura tem um papel positivo na reação. A menor temperatura de 50°C foi encontrada na esterificação do AL com Metanol, na presença do catalisador enzimático (DI et al., 2019), no entanto o tempo de reação chegou a 24 horas. A

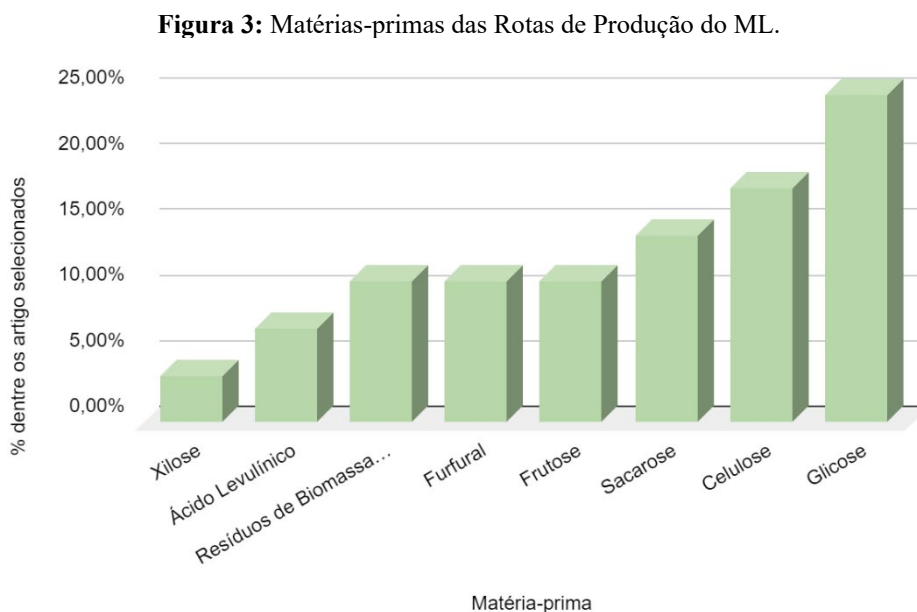
temperatura mais elevada de 270°C foi no teste a partir do furfural, com tempo de reação de 6h e catalisador de zircônia (CHEN et al., 2017), em condições próximas a supercríticas. Ao todo, foram testados 29 catalisadores diferentes. A catálise ácida é preponderante no processo de conversão (REN et al., 2016). A catálise homogênea exige altas pressões e temperaturas, já o emprego da catálise heterogênea apresenta maior eficiência energética e ambiental (CHEN et al., 2018). Foram apontados problemas de corrosão de equipamentos. As pesquisas dos anos de 2019 e 2020 trazem o desenvolvimento de catalisadores suportados e nanopartículas.

**Figura 2:** Cluster de Palavras-Chave obtido a partir da aplicação VOSViewer®.



Fonte: O autor, 2021.

As rotas de produção apresentadas na literatura ocorreram a partir de 8 matérias-primas (Figura 3), com destaque para a glicose e poucos estudos da esterificação direta a partir do AL.



Fonte: O autor, 2021.

## ESTADO DA ARTE DA SÍNTESE DO METIL LEVULINATO

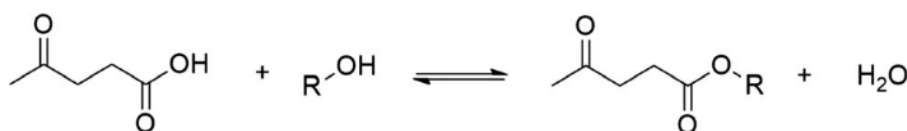
O Ácido Levulínico e o Metil Levulinato têm-se demonstrado como produtos químicos de base biológica bastante versátil. Ainda é um desafio encontrar rotas de produção a partir da biomassa economicamente viáveis, quando comparadas à indústria petrolífera, para que esses produtos possam chegar ao mercado (WAAL e JONG, 2016). As propriedades do ML foram catalogadas na Tabela 1.

No trabalho desenvolvido por Altuntepe et al. (2017), foram estudados os ésteres levulinato de metila, levulinato de etila e levulinato de butila (Figura 4). As reações de esterificação do AL com Metanol (MeOH), Etanol (EtOH) e 1-butanol(1-BuOH). As razões molares Álcool/AL foram 1:3, 1:1 e 3:1, respectivamente. As reações ocorreram a uma temperatura de 323.15 K. Não foi verificada influência da quantidade de AL superior ao álcool na conversão. No entanto, verificou-se que o excesso de 1-BuOH sobre AL (3:1) desloca fortemente a equilíbrio de reação ao lado do produto, aumentando a conversão do AL com o aumento do 1-BuOH.

**Tabela 1:** Propriedades Físicas do Metil Levulinato.

Característica	Descrição
Nomes	Metil 4-Oxovalerato; Metil 4-Pentanoato
Fórmula Química	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>
CAS#	624-45-3
Massa Molecular(g/mol)	130,14
Aparência	Líquido incolor e límpido
Densidade Relativa (g/cm <sup>3</sup> )	1,051 a 20°C
Solubilidade	Em água e miscível na maioria dos solventes orgânicos
Ponto de Fusão(°C)	-24
Ponto de Ebulição(°C)	193-195
Ponto de Fulgor(°C)	72
Calor de Formação ΔHf(kJ/mol)	-2.369,6
Calor de vaporização ΔvapHf(kJ/mol)	50,4 e 51,1

Fonte: WAAL e JONG (2016).

**Figura 4:** Esquema da Esterificação do Ácido Levulínico com álcoois (R = CH<sub>3</sub> ou CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub> ou (CH<sub>2</sub>)<sub>3</sub>CH<sub>3</sub>).

Fonte: ALTUNTEPE et al., 2017.

A produção do Metil Levulinato (ML) a partir da biomassa lignocelulósica pode ser obtida por diversas rotas, que dependem da matéria-prima. Pode ser produzido a partir da celulose, dos açúcares da fração hemicelulósica, dos produtos intermediários das reações e de resíduos agrícolas e industriais. Diversas pesquisas, mostradas a seguir, apontam diferentes rotas de produção quando variam o substrato, o catalisador empregado e condições de operação.

Quanto ao efeito da temperatura, verificou-se que a temperatura tem um papel positivo na reação. Entretanto, alguns cuidados precisam ser tomados, como por exemplo evitar que os reagentes sejam decompostos a altas temperaturas. Ao elevar-se a temperatura também pode-se aumentar a formação de humus. Além da temperatura a proporção entre a quantidade de substrato e álcool também afetam a produção do ML (PENG et al., 2013). Detecta-se a evidência da necessidade de excesso do metanol para favorecer o caminho da reação. Porém, a otimização do processo é interessante para economia de reagentes, energia e tempo de reação. Ainda que apontem as tendências e as melhores produções de ML, a comparação entre as pesquisas apresentadas é dificultada pelas diferentes rotas adotadas, tipos de reatores, variação de catalisadores e tempo de reação.

Saravanamurugan et al. (2013) empregaram o H-USY como catalisador para obter metil levulinato a partir de glicose, e os ésteres de metil levulinato foram obtidos com um rendimento de aproximadamente 49% a 160 ° C por 20 h.

As nanopartículas ácidas de dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) exibiam atividade e seletividade superiores em relação ao metil levulinato a partir da glicose em metanol ao invés de água, chegando a um rendimento de metil levulinato de 61% a 175 °C por 9 h (KUO et al. 2014).

De acordo com Zhou (2014) vários catalisadores foram testados na conversão de glicose em metil levulinato na presença de metanol. O rendimento de ML foi baixo quando usado como catalisador H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ou HCl, embora a glicose tenha sido completamente convertida, o rendimento chegou a apenas 13% quando usado H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 12% quando usado HCl como catalisador.

Chen (2017) atestou que os ácidos de Brønsted e Lewis tem efeitos catalíticos diferentes na conversão de biomassa em Metil levulinato, principalmente quando se trata dos intermediários como metilglucósido (MG) e 5-metoximetilfurfural (MMF), se fazendo necessário um estudo para projetar catalisadores eficientes de modo a obter maiores rendimentos de metil levulinato.

Liu (2018) em seu estudo verificou que para conversão de biomassa em Metil Levulinato (ML), se dar na presença de catalisadores como: Ácidos minerais, sais metálicos e líquidos iônicos funcionalizados com ácido sulfônico (SO<sub>3</sub>H-ILS), os quais são eficientes principalmente para alcoólise da biomassa.

Matérias-primas como bagaço, álamo em pó e bambu em pó foram convertidas com sucesso em ML com rendimentos de 65,1, 62,7 e 64,2%, respectivamente, com base no teor de celulose dessas matérias-primas. Esses resultados demonstraram ainda a grande compatibilidade do Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> com o sistema catalítico para a produção de ML a partir de diferentes recursos de biomassa (HUANG, 2018).

Liang (2020) em seu trabalho relata as etapas para produção de metil levulinato a partir de reator convencional de aço inox. Primeiramente, a macromolécula de celulose ficou hidrolisada e a glicose foi produzida devido à ligação de hidrogênio formada por Cl - dos locais de BmimCl e ácido sulfônico no catalisador. A glicose foi posteriormente catalisada e o metil glucósido foi formado após a alcoólise, que foi posteriormente convertida em 5-metoximetil furfural após a desidratação. Finalmente, o produto alvo ML e o subproduto formato de metila foram resultantes da hidrólise do 5-metoximetil furfural.

A irradiação por micro-ondas é uma tecnologia amplamente utilizada para processos químicos. É um aquecimento dielétrico volumétrico e seletivo, que pode acelerar bastante a taxa de reação e reduzir o tempo necessário para concluir a reação. Isso também pode economizar consumo de energia e, às vezes, reduzir reações colaterais indesejadas, evitando a exposição da mistura de reação a altas temperaturas por muito tempo.

Li (2017) usado reator de micro-ondas e catalisador híbrido ZrY6 (0,5) encontrou um rendimento de ML (68%) e conversão de glicose (96%) a 180 °C por 180 min. Como resultado, o sistema catalítico assistido por micro-ondas sobre o híbrido ZrY6 (0,5) foi adequado para transformar diferentes tipos de açúcares derivados de biomassa em ML em condições de reação ideais.

## **ESTUDO EXPERIMENTAIS PRELIMINARES DA ESTERIFICAÇÃO DO ÁCIDO LEVULÍNICO EMPREGADO SULFATO DE ALUMÍNIO**

Foram realizadas reações para síntese do ML a partir da esterificação do AL, empregando-se o sulfato de alumínio como catalisador. Os produtos químicos utilizados foram: Ácido Levulínico ( $C^5H^8O^3$ , SIGMA-ALDRICH,  $\geq 97,0\%$ ), metanol ( $CH_3OH$ , NEON, 99,0%) e sulfato de alumínio anidro ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , SIGMA-ALDRICH,  $\geq 99,0\%$ ).

Todas as reações ocorreram por meio da adição direta dos reagentes no reator de Aço Inox com volume 300 mL da (*Parr Instruments Company*, série 4560), sob agitação de 733 rpm, promovida pelo sistema de agitação interno do conjunto. As condições dos experimentos estão descritas na Tabela 2. O controlador foi configurado para atingir a temperatura programada em modo de aquecimento rápido e a agitação foi iniciada. Esse intervalo varia conforme a temperatura de reação, estando entre 20 e 55 minutos. O tempo de reação era iniciado quando essa temperatura era atingida. Ao final do tempo previsto, foram desligados os sistemas de aquecimento e agitação e acionado o sistema de resfriamento até que, ao atingir a temperatura ambiente, o material pudesse ser retirado. Além da temperatura, o sistema de controle 4848 da *Parr Instruments* permitiu acompanhar a variação da pressão. As pressões máximas atingidas foram: 126 psi a 140 °C para 2 horas de reação e 543 psi a 170 °C para 3 horas de reação.

**Tabela 2:** Descrição das condições experimentais das reações.

Temperatura (°C)	Razão Molar	Tempo de Reação (h)				
	MeOH:AL	0,5	1,0	-	2,0	3,0
170	8:1	0,5	1,0	-	2,0	3,0
170	18:1	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0

Fonte: O autor, 2021.

O produto das reações passou por filtração a vácuo, em Funil de Buchner através de Papel de filtro qualitativo com gramatura de 0,45 µm. Em seguida, o filtrado passou pelo processo de centrifugação, durante 10 minutos. Da parte líquida são retiradas as amostras para análise. O material retido será utilizado para recuperação do catalisador.

Após a devida preparação, as amostras foram submetidas à Cromatografia Gasosa com detector de Ionização de Chama (CG-FID) do fabricante Shimatsu. A coluna empregada foi a Rtx®-1 (60 m x 0,25mmID x 0,25df), da fabricante Restek. As condições de análises seguiram o preconizado por (ZAINOL et al. 2020) que também trabalhou com a esterificação do AL, sendo: Injeção: *split system*, gás nitrogênio a vazão de 1 mL/min, temperatura 250 °C; Rampa: 5 °C /min de 50 °C a 170 °C; 15 °C /min de 170 °C a 240 °C Detector: 270 °C. Apenas a primeira bateria de reações foi analisada por CG-FID.

A conversão do AL foi calculada empregando-se a Equação 1, a partir dos resultados obtidos através da cromatografia gasosa.

$$\text{Conversao (\%)} = 100 \times \frac{C_{AL_0} - C_{AL}}{C_{AL_0}} \quad (1)$$

Onde:

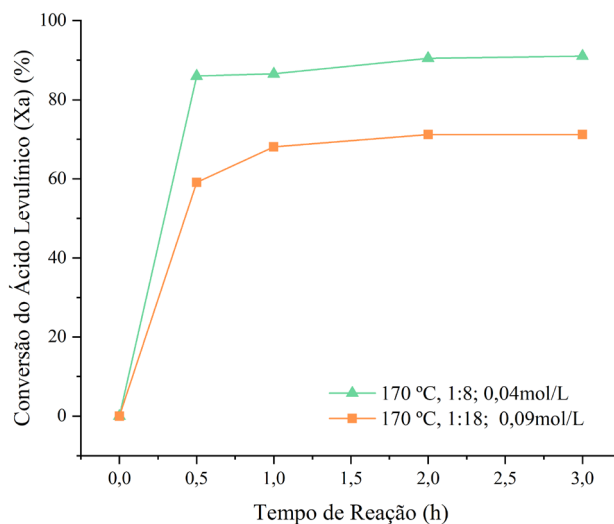
$C_{AL_0}$  : Concentração inicial do AL

$C_{AL}$  :Concentração do AL no instante de tempo t

Diante dos experimentos realizados foi possível fazer uma análise da influência da razão molar e da quantidade de catalisador na conversão do AL para a temperatura de 170 °C, conforme representado na Figura 5. O aumento da concentração do catalisador teve efeito negativo na conversão, exercendo efeito maior do que o tempo. A interação entre esses dois fatores é inferior a cada um deles de forma isolada. Os resultados indicaram que é possível atingir conversão máxima (90,48%) em uma menor proporção em massa do catalisador. A

redução na quantidade do metanol na reação apresentou efeito positivo na conversão, maior que a influência do tempo de reação. A literatura indica que o excesso do álcool conduz a equação no sentido da produção do éster (PENG et al., 2013), fazendo necessário realizar mais experimentos que demonstrem a relação mais adequada para o emprego do  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  como catalisador.

**Figura 5:** Perfil da conversão do AL em função do tempo de reação nas condições de reação na temperatura de 170°C.



**Fonte:** O autor, 2021.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das informações coletadas, uma tendência de crescimento da produção científica sobre o ML foi apresentada. Em primeiro aspecto, verificou-se a síntese do ML a partir da biomassa lignocelulósica ainda está na escala de laboratório. Logo, a primeira de linha de pesquisa seria buscar o aumento da maturidade tecnológica e seu desenvolvimento até a escala industrial. No segundo aspecto, surge o emprego de novas biomassas como fonte de carboidratos, gerando demanda por parâmetros otimizados de produção. Ainda desponta a síntese e produção de catalisadores de custo viável e amigáveis ambientalmente.

No estudo experimental preliminar desenvolvido, ficou demonstrada a eficiente do sulfato de alumínio como catalisador na esterificação do AL. A conversão máxima obtida foi de 90%, para a reação realizada a 170°C e 3 horas de duração. Quando comparado os blocos de experimentos, o aumento da carga de catalisador afetou negativamente a conversão do AL.



A síntese preliminar indicou fatores suficiente para desenvolvimento de pesquisa posterior para otimização experimental, tais como: fatores de influência, faixas dos parâmetros, validação da metodologia e eficiência de catalisador.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## REFERÊNCIAS

ALTUNTEPE, E. et al. Thermodynamics of enzyme-catalyzed esterifications: II. Levulinic acid esterification with short-chain alcohols. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 101, n. 20, p. 7509–7521, 2017.

BOZELL, J. J.; PETERSEN, G. R. Technology development for the production of biobased products from biorefinery carbohydrates—the US Department of Energy’s “top 10” revisited. **Green Chemistry**, v. 12, n. 4, p. 539–55, 2010.

CHEN, H. *et al.* Catalytic conversion of furfural to methyl levulinate in a single-step route over Zr/SBA-15 in near-critical methanol. **Chemical Engineering Journal**, 2018. v. 333, n. September 2017, p. 434–442. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.09.180>>.

CHEN, X. et al. Catalysis performance comparison of a Brønsted acid H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and a Lewis acid Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> in methyl levulinate production from biomass carbohydrates. **Journal of Energy Chemistry**, v. 27, n. 2, p. 552–558, 2018b.

DÉMOLIS, A.; ESSAYEM, N.; RATABOUL, F. Synthesis and applications of alkyl levulinates. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 2, n. 6, p. 1338–1352, 2014.

DI, X. et al. Biocatalytic upgrading of levulinic acid to methyl levulinate in green solvents. **Process Biochemistry**, v. 81, n. January, p. 33–38, 2019.

HUANG, Y. B. *et al.* Facile and high-yield synthesis of methyl levulinate from cellulose. **Green Chemistry**, 2018. v. 20, n. 6, p. 1323–1334.

KUO, C.-H. *et al.* Heterogeneous acidic TiO<sub>2</sub> nanoparticles for efficient conversion of biomass derived carbohydrates. **Green Chem.**, 2014. v. 16, n. 2, p. 785–791. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1039/C3GC40909K>>.

LIANG, X.; FU, Y.; CHANG, J. Sustainable production of methyl levulinate from biomass in ionic liquid-methanol system with biomass-based catalyst. **Fuel**, 2020. v. 259, n. Setembro 2019, p. 116246. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116246>>.

LI, H. *et al.* Direct conversion of biomass components to the biofuel methyl levulinate catalyzed by acid-base bifunctional zirconia-zeolites. **Applied Catalysis B: Environmental**, 2017. v. 200, p. 182–191.

LIU, J. *et al.* Highly efficient conversion of glucose into methyl levulinate catalyzed by tin-exchanged montmorillonite. **Renewable Energy**, 2018. v. 120, p. 231–240. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.104>>.

LOMBA, L. *et al.* Thermophysical study of methyl levulinate. **Journal of Chemical Thermodynamics**, v. 65, p. 34–41, 2013.

PENG, L. *et al.* Acid-catalyzed direct synthesis of methyl levulinate from paper sludge in methanol medium. **BioResources**, v. 8, n. 4, p. 5895–5907, 2013.

PILEIDIS, F. D.; TITIRICI, M. M. (2016) Levulinic Acid Biorefineries: New Challenges for Efficient Utilization of Biomass. **ChemSusChem** 9:562–582. <https://doi.org/10.1002/cssc.201501405>

REE, R. V.; ZEELAND, A. V.. Task 42 Biorefining. **IEA Bioenergy**, p. 1–64, 2014.

REN, D. *et al.* Efficient conversion of biomass-derived furfuryl alcohol to levulinate esters over commercial  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. **RSC Advances**, v. 6, n. 26, p. 22174–22178, 2016.

SARAVANAMURUGAN, S.; RIISAGER, A. Zeolite catalyzed transformation of carbohydrates to alkyl levulinates. **ChemCatChem**, 2013. v. 5, n. 7, p. 1754–1757.

TAKKELLAPATI, S.; LI, T.; GONZALEZ, M. A. An Overview of Biorefinery Derived Platform Chemicals from a Cellulose and Hemicellulose Biorefinery. **Clean Technol Environ Policy**, v. 20, n. 7, p. 1615–1630, 2018.

WAAL, J. C. V. D.; JONG, E. D. Avantium chemicals: the high potential for the levulinic product tree. In: PABLO DOMÍNGUEZ DE MARÍA (Ed.). **Industrial viorenewables: a practical viewpoint**. 1. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2016. p. 34.

ZAINOL, M. M. *et al.* Ethyl levulinate synthesis from levulinic acid and furfuryl alcohol by using modified carbon cryogels. **Chemical Engineering Transactions**, v. 78, p. 547–552, 2020.

ZHOU, L. *et al.* Conversion of carbohydrate biomass to methyl levulinate with Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> as a simple, cheap and efficient catalyst. **Catalysis Communications**, v. 50, p. 13–16, 2014.

ZHOU, S. *et al.* Efficient conversion of cellulose to methyl levulinate over heteropoly acid promoted by Sn-Beta zeolite. **Cellulose**, v. 26, n. 17, p. 9135–9147, 2019.

# CAPÍTULO 30

## ANÁLISE MULTITEMPORAL DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COTIA – SÃO PAULO – BRASIL

**Bruno Pereira Toniolo**  
**Darllan Collins da Cunha e Silva**  
**Roberto Wagner Lourenço**

### RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi realizar um mapeamento de uso e ocupação do solo por meio de análise multitemporal para a Bacia Hidrográfica do Rio Cotia, dos anos 2002, 2011 e 2019. A classificação foi feita a partir de fotointerpretação de imagens ortorretificadas para os anos supracitados, com uso do programa ArcGIS. Foram mapeadas onze classes de uso e ocupação, de forma que as mais acentuadas foram área urbana, pastagem e vegetação arbórea. Os resultados demonstraram, para os últimos 17 anos, aumento nos percentuais das classes de: 114,68% de área urbana, 64,10% de indústria e 21,52% de solo exposto; e diminuição nos percentuais das classes de: 51,06% de pastagem, 86,94% de agropecuária e 9,18% de vegetação arbórea. De forma que isto corrobora o crescimento urbano desordenado na área de estudo, fato este que pode colocar em risco a conservação dos recursos naturais e hídricos da bacia, em especial a Reserva Florestal do Morro Grande.


**PALAVRAS-CHAVE:** Geoprocessamento; Uso da Terra; Cobertura Vegetal; Transformação Antrópica.

### INTRODUÇÃO

As ações antrópicas são atividades do ser humano sobre o ecossistema, geralmente com intenção de modificação da paisagem. Neste sentido, as ações humanas podem ser restritamente vegetativas, isto é, para subsistência e estritamente arbitrárias, ou seja, referente a volição do ser humano (ORTEGA, 2011).

O uso desenfreado dos recursos naturais por causa do crescimento demográfico gera conflitos nos processos de ocupação do solo, especialmente nos ambientes com limite urbano-rural, isto é, locais periurbanos cujas particularidades, como por exemplo, ilhas de calor, diminuição de fragmentos florestais e supressão da cobertura vegetal para pavimentação, não respeitam a conservação dos recursos hídricos e diminuem a resiliência do ecossistema inserido na malha urbanizada (RODRIGUES, 2018).

A ocupação antrópica por meio de usos múltiplos do solo sinalizam a ausência de propostas de ordenamento territorial, ocasionando impactos ambientais negativos como diminuição da matéria orgânica, salinização, impermeabilização, compactação e



desmoranamento de terras, poluição do solo, supressão de matas ciliares, queimadas, erosão, desertificação, irrigação, mineração, perda da flora e fauna; todos estes impactos antrópicos agregados com impactos naturais, como por exemplo, terremotos, erupções vulcânicas, inundações, tornados e maremotos, contribuem na piora da biodiversidade (SIMONETTI et al., 2019).

De acordo com Targa et al. (2012), bacia hidrográfica é definida como um conjunto de terras delimitadas por divisores topográficos, tendo uma rede de drenagem que faz o escoamento da água para um só ponto denominado exutório ou foz, de forma que o sistema drenante é composto de nascentes para córregos perenes, olhos de água para córregos intermitentes, chamados de afluentes e subafluentes.

Conforme Pacheco (2013), a fragmentação de uma bacia hidrográfica em sub bacias permite a contextualização de dificuldades diversas, devido à aproximação da escala gráfica, a facilitar a identificação dos pontos degradados dos recursos naturais e o comprometimento da aptidão sustentável do uso e ocupação do solo.

A ocupação da paisagem pode alterar a qualidade da água por meio da poluição e da contaminação, sendo que a primeira está relacionada com as propriedades físicas da água, enquanto a segunda está associada às modificações químicas e biológicas, como bactérias, vírus ou substâncias tóxicas. Porém, ambas coexistem e são intensificadas pelo escoamento superficial, precipitação e infiltração (PINHEIRO, 2004).

Dessa forma, o geoprocessamento associado ao sensoriamento remoto, ajudam no gerenciamento das bacias hidrográficas, ofertando maior celeridade no processamento de dados e redução de custos quando comparados às visitas de campo. Possuem caráter multidisciplinar, sendo utilizável em recursos hídricos, cadastro municipal e rural, análise biológica, obras de saneamento básico, obras de engenharia, educação, agronegócio e geração e transmissão de energia elétrica (VON SPERLING, 2005; NOVO, 2010).

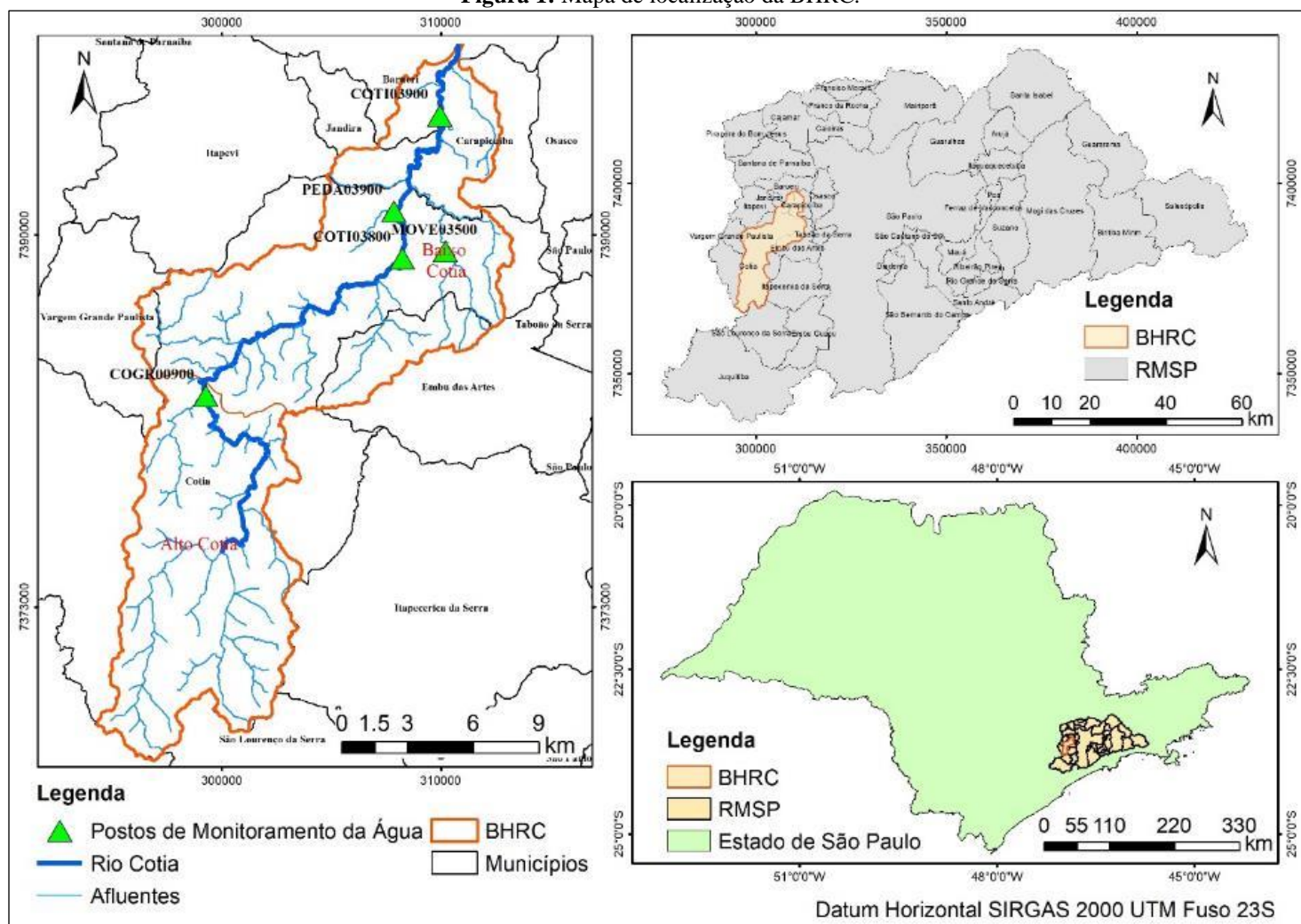
Portanto, este trabalho teve o objetivo de fazer o mapeamento do uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Cotia (BHRC), SP, baseada em uma análise multitemporal. Para isso, foram aplicadas ferramentas geotecnológicas, se justificando pela importância ambiental que a BHRC tem para a localidade, seja pela captação de água do Alto Cotia ao abastecimento da população urbana, como pela existência da Reserva Florestal do Morro Grande (RFMG), um dos maiores remanescentes de Mata Atlântica situados na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de Estudo

Para o desenvolvimento deste trabalho foi escolhida a Bacia Hidrográfica do Rio Cotia (BHRC), que está localizada na zona oeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), abrangendo os municípios de Barueri (2,80%), Carapicuíba (6,92%), Cotia (79,32%), Embu das Artes (7,01%), Jandira (2,81%) e Vargem Grande Paulista (1,15%). A BHRC tem uma área de 251,36 km<sup>2</sup>, sendo segmentada em duas regiões com características específicas em relação às suas distinções físicas e de situação de preservação do meio ambiente: Baixo Cotia e Alto Cotia (Figura 1) (SABESP, 2019).

Figura 1: Mapa de localização da BHRC.



Fonte: Autoria própria, 2020.

O Baixo Cotia exibe um cenário altamente urbanizado, com cursos de água constantemente contaminados e assoreados, decorrentes de ocupação não planejada, ausência de rede de saneamento básico e presença de atividades industriais, o que acaba piorando a qualidade da água tratada (SÃO PAULO, 2007).

Segundo Metzger et al. (2006), o Alto Cotia sofre pouquíssima transformação antrópica por ter a Reserva Florestal do Morro Grande (RFMG), que é um dos maiores remanescentes florestais do Planalto Atlântico Paulista, contudo o local já conviveu com intenso desmatamento para a expansão da malha urbana e agricultura, e mais antigamente para exploração de carvão e lenha. Na RFGM estão situadas as cabeceiras do Rio Cotia, as Represas Pedro Beicht e Cachoeira da Graça, e desde 1916 o Sistema Produtor do Alto Cotia, operado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), que fornece água para mais de 500 mil moradores da RMSP.

Conforme a Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE, 2020), a população habitante da BHRC era cerca de 495 mil habitantes para o ano de 2019, 445 mil habitantes para o ano de 2011 e 390 mil habitantes para o ano de 2002, mostrando uma taxa de crescimento populacional aproximada de 12% para ambos períodos.

A BHRC possui clima subtropical úmido denominado Cwa, com verões quentes e invernos secos, conforme classificação de Koppen-Geiger, sendo que a temperatura média no inverno é de 16° C, enquanto no verão a temperatura média é de 22° C. A precipitação pluviométrica média anual da BHRC apresenta variação de 1.380 a 1.730 mm, com maior intensidade à montante da bacia (DAEE, 2020).

Referente aos pontos de destaque, a bacia é cortada pela Rodovia Raposo Tavares (SP-270) ao norte e próximo do exutório da bacia está localizada a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Barueri no Rio Tietê, próxima da Rodovia Castelo Branco (SP-280).

## Metodologia

O mapa de uso e ocupação do solo BHRC foi gerado a partir da edição do “Atlas do Uso e Ocupação do Solo dos Municípios da RMSP” (EMPLASA, 2006), em formato vetorial, ano base de 2002, adaptando-se as 18 classes de uso existentes na BHRC para 11 novas classes (Tabela 1), levando em consideração as diretrizes do “Manual Técnico de Uso da Terra” do IBGE (IBGE, 2013).

**Tabela 1:** Adaptação das classes de uso da terra.

Classe Original	Classe Adaptada	Cor	Definição (EMPLASA, 2006)
Hortifrutigranjeiro	Agropecuária	Amarelo	Áreas de cultura perene ou anual, horticultura, granja, piscicultura e gado.
Área urbanizada	Área urbana	Rosa	Áreas arruadas e ocupadas por uso residencial, comercial e de serviços, caracterizadas por edificações de grande e pequeno porte, obras de infraestrutura e locais institucionais.
Equipamento urbano			
Outro uso			
Rodovia			

Classe Original	Classe Adaptada	Cor	Definição (EMPLASA, 2006)
Aterro sanitário	Aterro sanitário		Área de depósitos de resíduos sólidos depositados, com tratamento ou jogados a céu aberto sem tratamento (lixão).
Favela	Aglomerado subnormal		Conjunto de moradias em condições sub habitacionais sem identificação de lotes, dispostas de forma desordenada e densa. Favelas urbanizadas foram classificadas como área urbana.
Espelho de água	Hidrografia		Córregos, rios e açudes (represas e lagos).
Indústria	Indústria		Edificações de grande porte que comportam fábricas, pátios de estacionamento, olarias, canteiros de obras etc.
Mineração	Mineração		Área de extração mineral, caracterizada pela remoção da cobertura vegetal e corte do relevo. Inclusos locais de exploração desativada.
Campo	Pastagem		Vegetação caracterizada pela presença de gramíneas, com altura de 10 a 15 cm, podendo ser contínua ou espaçada (tufos com trechos de solo descoberto). Espaçadamente, podem existir pequenos arbustos e raramente arbustos.
Capoeira			
Chácara			
Loteamento desocupado			
Vegetação de várzea			
Reflorestamento	Reflorestamento		Formações arbóreas e homogêneas, cultivadas pelo homem com fim econômico, com predominância de pinus e eucalipto.
Movimento terra / Solo exposto	Solo exposto		Região que sofreu processos erosivos, sem cobertura vegetal.
Mata	Vegetação arbórea		Vegetação constituída com árvores de porte superior a 5 metros, cujas copas se toquem ou propiciem uma cobertura de pelo menos 40%. Se é de formação secundária, as árvores podem ter altura menor que 5 metros, possuindo apenas um tronco (não pode ser arbusto).

Fonte: Adaptado de EMPLASA (2006) e IBGE (2013).

Além do mapa de uso da terra e cobertura vegetal do ano de 2002, foi realizado o mapeamento do uso da terra para os anos de 2011 e 2019, sendo que para os anos de 2011 e 2019 foram atualizadas e retificadas as classes do mapa de 2002 por meio de interpretação visual conforme proposto por Novo (2010), usando três elementos de identificação – cor, textura e forma –, para a criação das chaves de interpretação do mapeamento. O programa utilizado para mapeamento foi o ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016).





Foram usadas como base imagens ortorretificadas cedidas pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e as imagens disponíveis no programa Google Earth Pro (Google, 2017). As imagens da SABESP do ano de 2011 possuem resolução espacial de 1 metro e foram obtidas a partir de aerofotogrametria executada pela empresa Base Aerofotogrametria e Projetos, e as imagens de 2019 possuem resolução espacial de 50 centímetros e foram obtidas do satélite Kompsat 2, cedidas pela empresa Engemap Geoinformação.

A Tabela 2 apresenta a chave de interpretação dos usos e cobertura do solo da BHRC.

**Tabela 2:** Chaves de interpretação para mapeamento da cobertura e uso da terra.

Classe	Amostra da imagem	Cor	Textura	Forma
Aglomerado subnormal		Cinza Branco Verde-escuro	Rugosa	Regular
Agropecuária		Verde-claro, Verde-escuro, Rosado	Lisa Rugosa	Irregular Regular
Área urbana		Rosado Cinza Verde-escuro Laranja	Rugosa	Regular
Aterro sanitário		Verde-escuro Rosado Cinza	Rugosa Lisa	Regular
Hidrografia		Preto Verde-claro Verde-escuro	Lisa	Irregular Regular
Indústria		Cinza Rosado Branco	Rugosa	Regular Irregular
Mineração		Branco Rosado	Lisa Rugosa	Irregular



Classe	Amostra da imagem	Cor	Textura	Forma
Pastagem		Verde Verde-escuro Verde-claro	Lisa Rugosa	Regular
Reflorestamento		Verde-escuro Verde	Rugosa Lisa	Regular
Solo exposto		Rosado Branco	Lisa Rugosa	Regular Irregular
Vegetação arbórea		Verde-escuro Verde-claro	Rugosa Lisa	Irregular

Fonte: Adaptado de Novo (2010).

Foram aproveitadas as vistorias de campo realizadas por Toniolo (2020), objetivando a verificação e aprimoramento das determinações das classes de solo, melhorando a precisão das informações observadas nas imagens de forma a eliminar dúvidas e diminuir a margem de erros durante a retificação dos polígonos das classes.

Foi aplicada também a técnica de análise da paisagem proposta por Vlami et al. (2019) para validar os dados sobre padrões de ocupação e disposição dos resíduos poluentes na BHRC. Esta técnica consiste na avaliação de quinze (15) variáveis, divididas em categorias de uso da terra, estrutura construída, poluição, biodiversidade, integridade de ecossistema e qualidade estética, sendo que cada variável foi pontuada variando de 1 (ruim) a 10 (excelente, “condição de referência”), a partir de um ponto de vista com visão de 180 graus de paisagem e um raio de variação de até 50 m. A multiplicação da média aritmética de cada variável por dez fornecerá o Landscape Assessment Protocol Conservation Index (LAP-CI), sendo que este é classificado da seguinte forma: “Muito Ruim” (LAP-CI menor ou igual a 30); “Ruim” (LAP-CI entre 31 e 49); “Moderado” (LAP-CI entre 50 e 69); “Bom” (LAP-CI entre 70 e 84) e “Excelente (LAP-CI maior ou igual a 85).

O mapa de uso e ocupação do solo da BHRC referente a cada ano foi recortado pelas Áreas de Contribuição (AC's) propostas por Toniolo (2020), de forma a detalhar melhor a variabilidade espacial de cada classe ao longo do tempo.

## RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta as categorias de uso da terra para os anos 2002, 2011 e 2019 respectivamente.

**Tabela 3:** Percentuais de uso da terra na BHRC.

Classes	2002		2011		2019	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Aglomerado Subnormal	60,89	0,24	57,91	0,23	60,51	0,24
Agropecuária	216,75	0,86	117,59	0,47	28,31	0,11
Área Urbana	3.147,99	12,53	5.201,17	20,70	6.758,12	26,90
Aterro Sanitário	31,58	0,13	31,58	0,13	31,58	0,13
Hidrografia	287,21	1,14	337,19	1,34	289,07	1,15
Indústria	371,42	1,48	607,04	2,42	609,48	2,43
Mineração	42,26	0,17	42,26	0,17	42,26	0,17
Pastagem	4.668,21	18,58	2.802,78	11,15	2.383,42	9,48
Reflorestamento	687,31	2,74	687,31	2,74	687,31	2,74
Solo Exposto	184,25	0,73	388,54	1,55	223,90	0,89
Vegetação Arbórea	15.429,03	61,40	14.853,53	59,11	14.012,95	55,77
Total	25.126,90	100,00	25.126,90	100,00	25.126,90	100,00

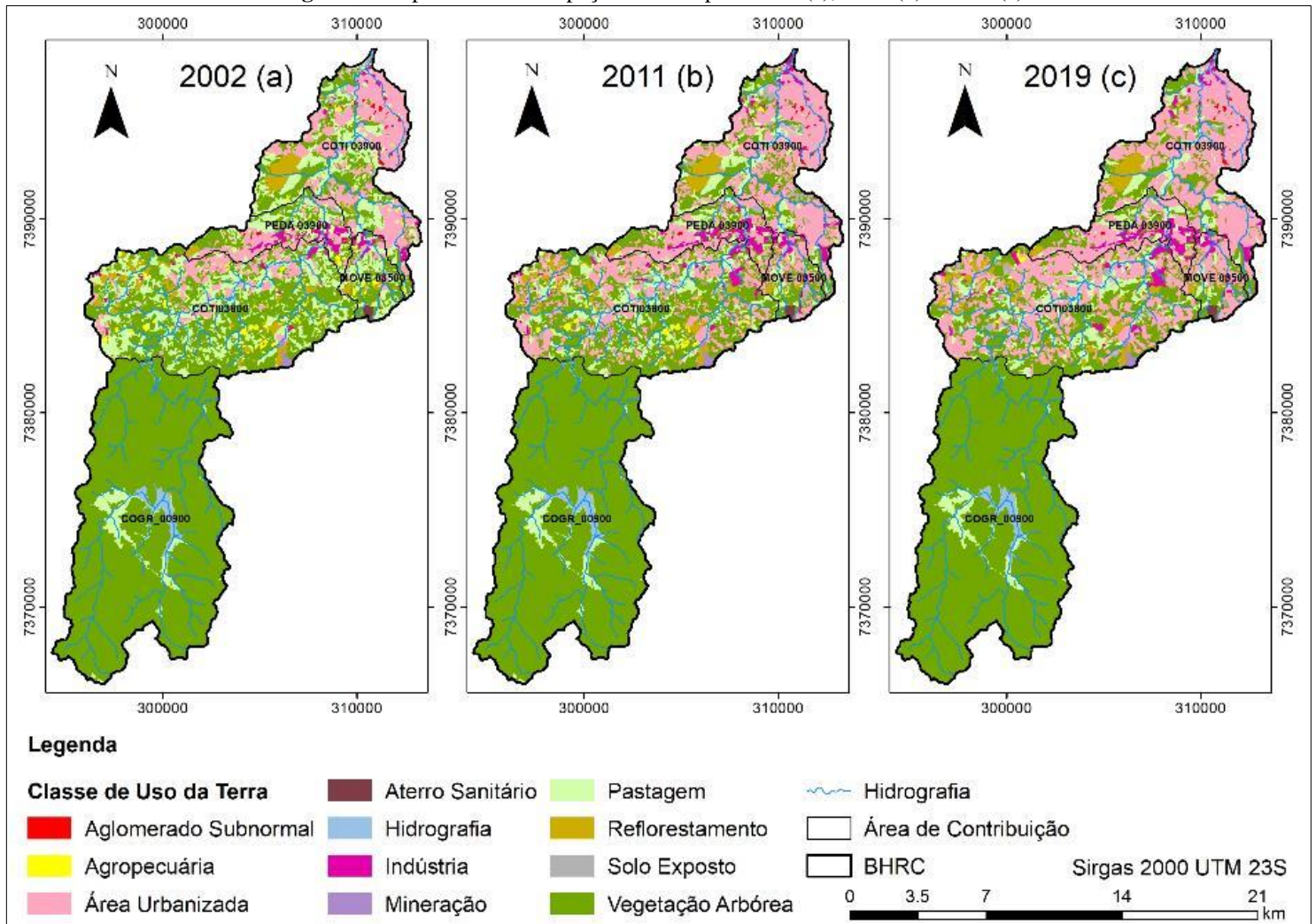
Fonte: Autoria própria, 2020.

A Figura 2 (a – c) apresenta os Mapas de uso e ocupação da terra da BHRC para os anos 2002, 2011 e 2019 respectivamente, resultantes do mapeamento do uso da terra da área de estudo. É possível observar que a BHRC apresenta condições bastante distintas quanto ao uso da terra quando comparado setor sul (Alto Cotia) e o setor norte (Baixo Cotia).

Percebe-se que no Baixo Cotia estão localizadas as áreas urbanas, industriais e aglomerados subnormais dos municípios de Cotia e Carapicuíba, a notar a falta de infraestrutura básica, principalmente no tocante a saneamento (SABESP, 2019). A porção do Alto Cotia, equivalente a Reserva Florestal do Morro Grande e à AC COGR00900, é quase toda composta por mata nativa, contendo o reservatório Pedro Beicht e a Represa das Graças.

De forma geral, a BHRC possuía em relação a sua área total para o ano de 2002, um percentual de 81,13% de áreas naturais e 18,87% de áreas antropizadas; para 2011, um percentual de 71,61% de áreas naturais e 28,39% de áreas antropizadas; e para 2019, um percentual de 66,40% de áreas naturais e 33,60% de áreas antropizadas.

**Figura 2:** Mapas de uso e ocupação da terra para 2002 (a), 2011 (b) e 2019 (c).



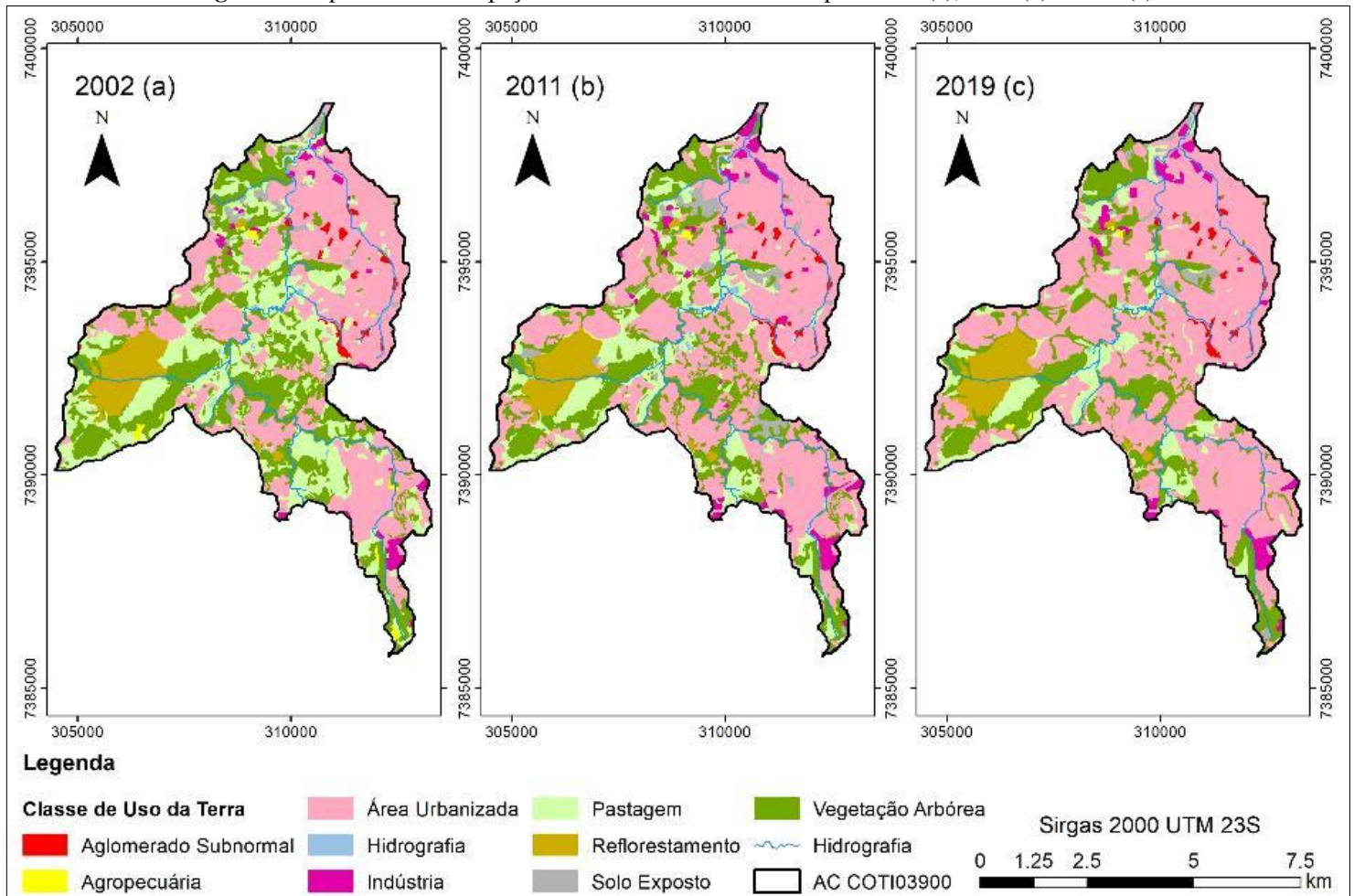
Fonte: Autoria própria, 2020.

Quanto à análise de paisagem, proposta por Vlami et al. (2019), a BHRC apresentou um índice de conservação (LAP-CI) médio igual a 59,83, classificado como de qualidade moderada, ou seja, num estado de conservação ambiental desfavorável, com paisagem moderadamente degradada e sujeita a várias mudanças e pressões modernas.

Nas visitas a campo, foram observadas em algumas regiões o pastoreio de gado bovino entre florestas de eucalipto e culturas agrícolas familiares. Contudo, devido ao tamanho da bacia existe dificuldade para se verificar em quais áreas há pecuária ou plantios homogêneos, portanto, estas duas classes foram contempladas em uma única classe intitulada como agropecuária (EMPLASA, 2006; IBGE, 2013).

A Figura 3 (a – c) mostra os mapas de uso e ocupação da terra da AC COTI03900 da BHRC para os anos 2002, 2011 e 2019 respectivamente.

**Figura 3:** Mapas de uso e ocupação da terra da AC COTI03900 para 2002 (a), 2011 (b) e 2019 (c).



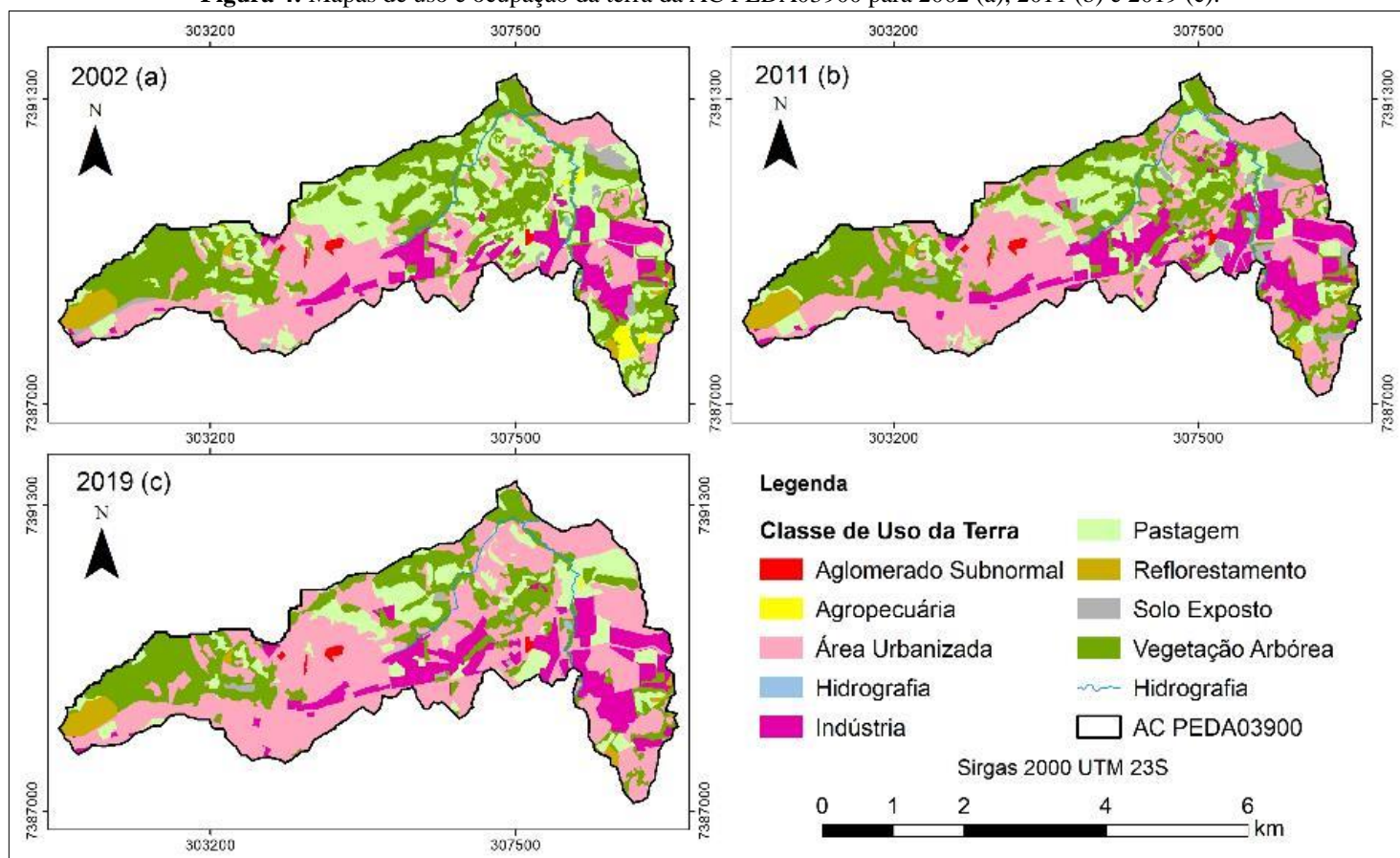
Fonte: Autoria própria, 2020.

Analisando a Figura 3 (a – c), é possível observar a predominância de áreas urbanas e vegetação arbórea, sendo que a primeira classe teve um aumento percentual de sua área de 27,92% em 2011 e 17,23% em 2019, e a segunda classe teve uma diminuição territorial de 12,59% em relação a 2011 e 12,31% em 2019. Os complexos industriais também acompanharam este crescimento com uma expansão de área de 63,75% entre 2002 e 2019. É nesta AC que está a maioria dos aglomerados subnormais, sendo que estes se mantiveram constantes durante o período analisado. Na porção sudoeste desta AC encontra-se um grande polígono de reflorestamento do tipo eucalipto, equivalente a um terço de toda classe.

Quanto à análise da paisagem (LAP-CI), foi obtido um valor avaliado de 49 e classificado como qualidade ruim, ou seja, um espaço urbano degradado e com condição de conservação desfavorável.

A Figura 4 (a – c) mostra os mapas de uso e ocupação da terra da AC PEDA03900 da BHRC para os anos 2002, 2011 e 2019 respectivamente.

**Figura 4:** Mapas de uso e ocupação da terra da AC PEDAO3900 para 2002 (a), 2011 (b) e 2019 (c).



Fonte: Autoria própria, 2020.

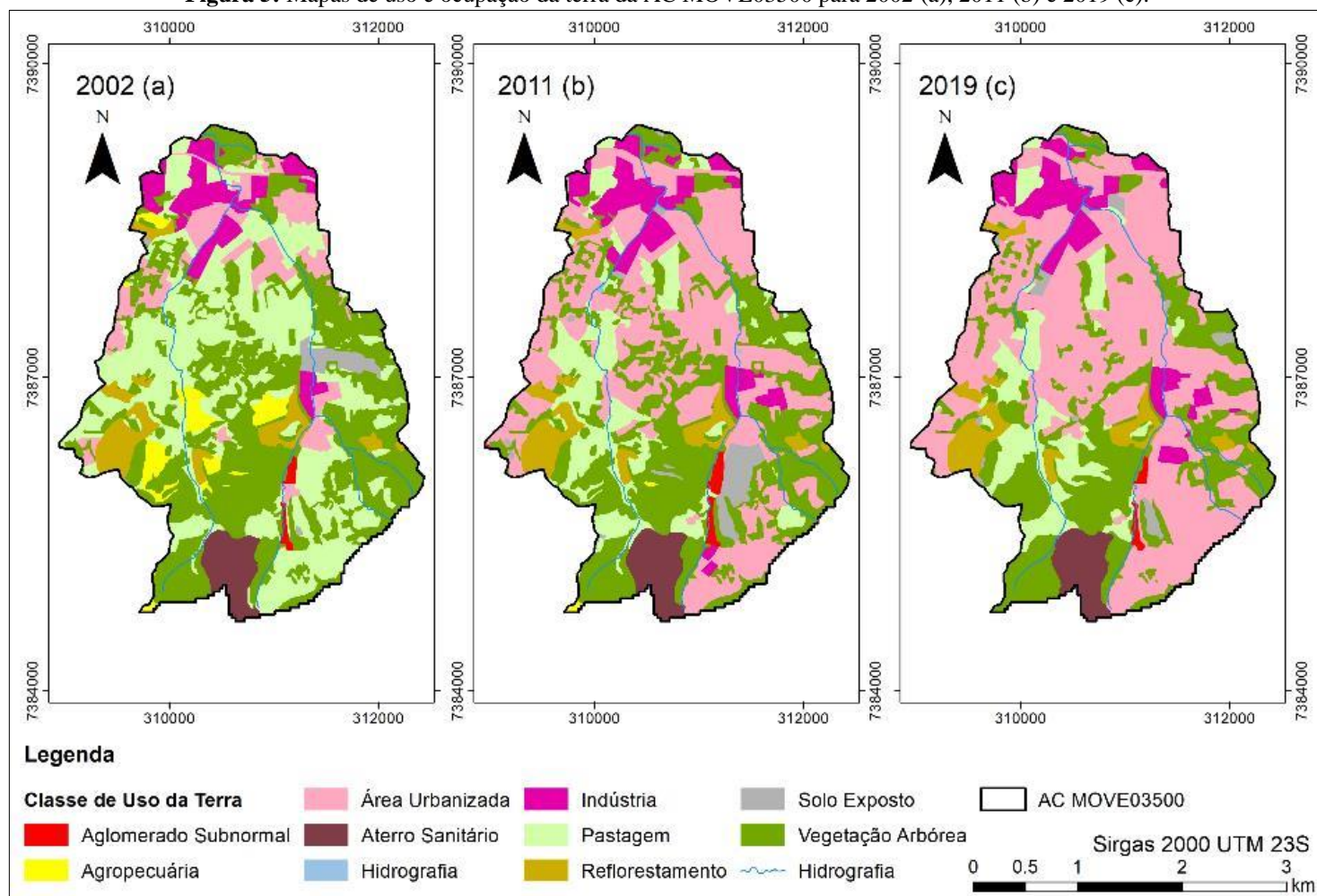
Os mapas de uso e ocupação da terra da Figura 4 mostram a classe urbana como prevalecente, seguida da vegetação arbórea: enquanto a primeira cresceu 40,54% em 2011 e 24,51% em 2019, a segunda decaiu 10,28% em 2011 e 15,75% em 2019.

Existem alguns aglomerados subnormais nesta AC, também se mantendo constantes durante todo período. O desmatamento também diminuiu a classe de pastagem, sendo 46,94% de sua área em 2011 e de forma mais branda com 8,64% em 2019. Nesta AC, o solo exposto apresentou uma oscilação, sendo que cresceu 111,33% em 2011 e decaiu 84,71% em 2019. Como a PEDAO3900 é cortada pela Rodovia Raposo Tavares (SP-270), é plausível que esta área seja a AC com maior incidência de área industrial em toda BHRC, apresentando entre 2002 e 2019 um aumento percentual do complexo de indústrias de 35,19%.

Referente à análise de paisagem, esta AC mostrou um valor médio de LAP-CI igual a 68, classificado como de qualidade moderada, igual à BHRC, com paisagem urbana e natural mediamente degradada.

A Figura 5 (a – c) mostra os mapas de uso e ocupação da terra para a AC MOVE03500 para os anos 2002, 2011 e 2019 respectivamente.

**Figura 5:** Mapas de uso e ocupação da terra da AC MOVE03500 para 2002 (a), 2011 (b) e 2019 (c).



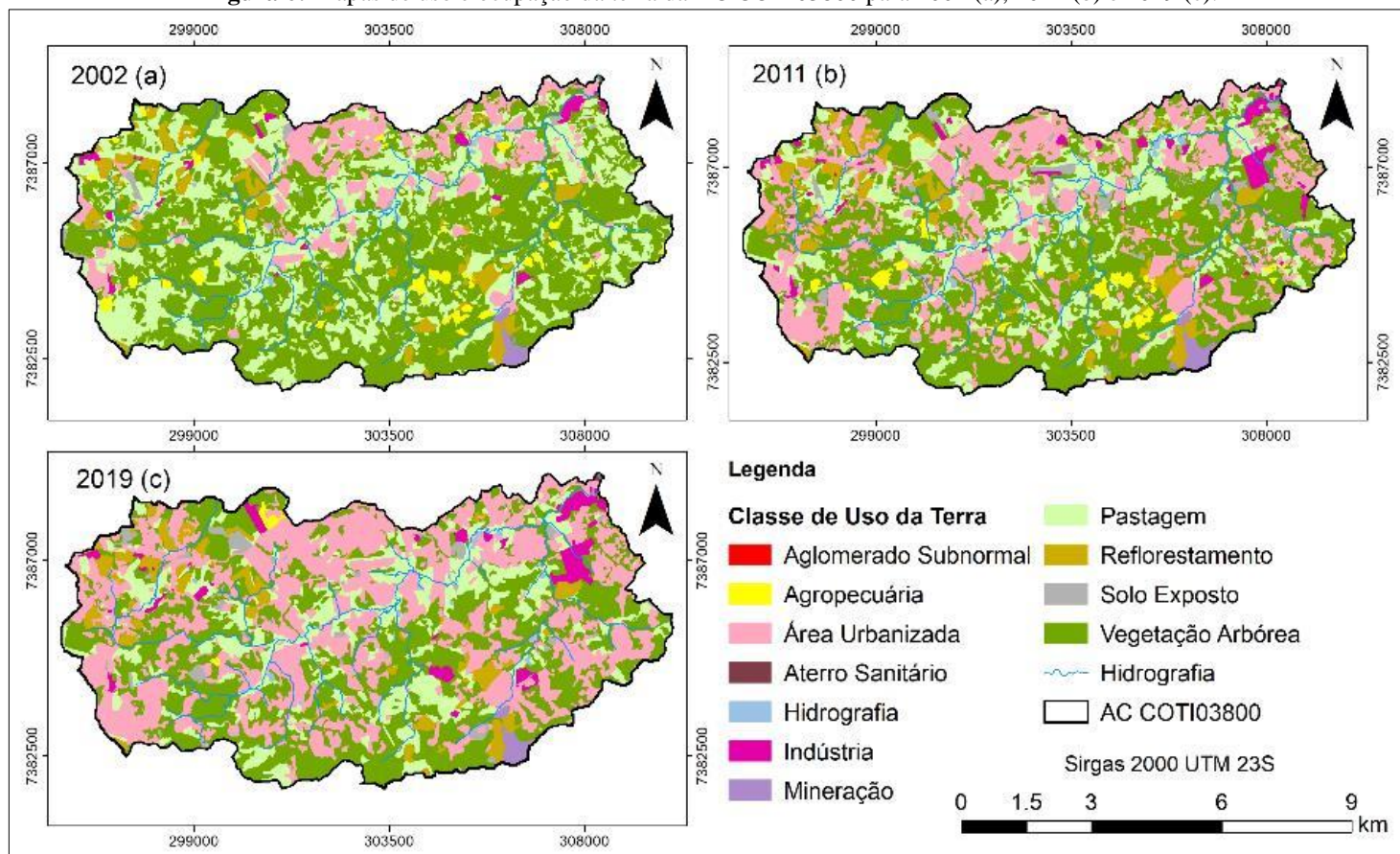
Fonte: Autoria própria, 2020.

A Figura 5 (a – c) aponta que a AC MOVE03500 em 2002 tinha predominância de área natural, porém em 2019 as áreas antropizadas se tornaram a maioria, sendo, portanto, a AC que mais sofreu pressão antrópica em relação as demais áreas: em todo período a área urbana cresceu cerca de 425%, enquanto que as classes de pastagem e vegetação arbórea diminuíram 69,62% e 30,77%, respectivamente, dando espaço à expansão urbana. Nota-se que a atividade agropecuária diminuiu muito no ano de 2011 (94,41%) e em 2019 se extinguiu.

É nesta AC que está localizado o único aterro sanitário da BHRC, localizado no município de Embu das Artes com 31,58 ha. A indústria apresentou um crescimento significativo de sua área, se expandindo 19,78% de 2002 a 2019. Existem também alguns núcleos de aglomerados subnormais estáveis com uma área de aproximadamente 4,65 ha. Analisando a paisagem da MOVE03500, obteve-se um valor de LAP-CI médio igual a 55, também classificado como moderadamente degradado.

A Figura 6 (a – c) mostra os mapas de uso e ocupação da terra da AC para os anos de 2002, 2011 e 2019 respectivamente.

**Figura 6:** Mapas de uso e ocupação da terra da AC COTI03800 para 2002 (a), 2011 (b) e 2019 (c).



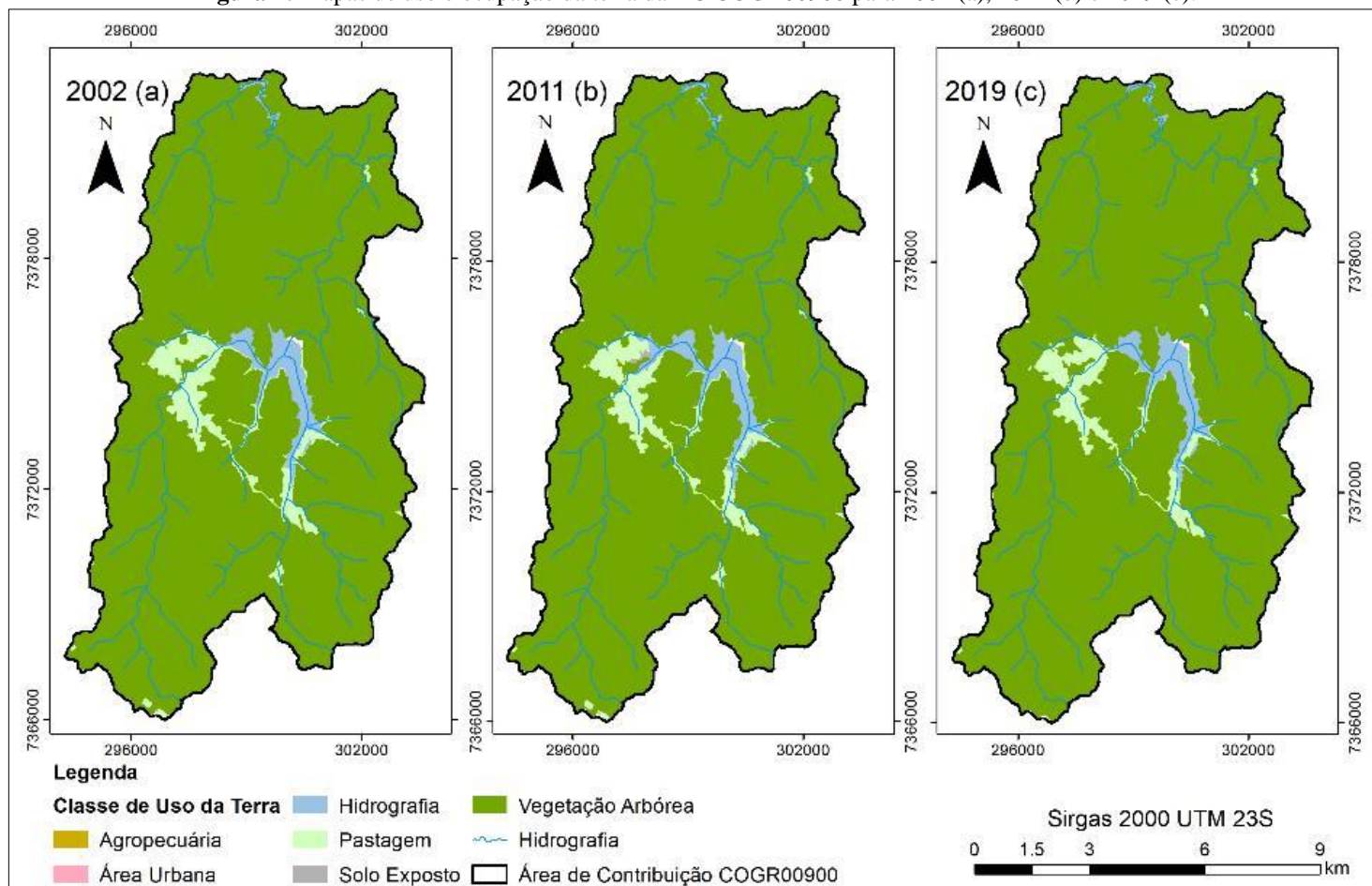
Fonte: Autoria própria, 2020.

Analisando a Figura 6 (a – c), observa-se que embora a expansão urbana e industrial seja evidente com um crescimento de 2002 a 2019 de 268% e 160% respectivamente, as áreas naturais são ainda as predominantes na AC COTI03800 para o ano de 2019 com 53% em relação à sua área total, contra 47% de áreas antropizadas. Esta AC possui a única mineradora de toda bacia, localizada no município de Embu das Artes, com uma área aproximada de 42 ha.

Esta área é caracterizada como uma região periurbana em estado de transformação, devido à ausência de aglomerados subnormais e pelo aumento de cerca de 169% da área do solo exposto de 2002 a 2019, sendo este substituído pela implantação de empreendimentos imobiliários. As atividades de agricultura e pecuária também diminuíram, cerca de 87% em todo período. Quanto à análise de paisagem, a COTI03800 apresentou um valor de LAP-CI médio igual a 74, o que equivale a uma qualidade boa, de conservação ambiental favorável, possuindo uma leve degradação.

Finalmente a Figura 7 (a – c) apresenta os mapas de uso e ocupação da terra da AC COGR00900 para os anos de 2002, 2011 e 2019 respectivamente.

**Figura 7:** Mapas de uso e ocupação da terra da AC COGR00900 para 2002 (a), 2011 (b) e 2019 (c).




Fonte: Autoria própria, 2020.

Avaliando a Figura 7 (a – c), percebe-se que a naturalmente a AC COGR00900 é a área mais protegida e estável, possuindo uma baixa variabilidade de uso da terra, por não existir influência antrópica. Houve somente a variação de 1,55% da área da hidrografia entre 2002 e 2019 e uma redução da pastagem para o mesmo período em 16,03%, provavelmente ocasionada pelo crescimento da vegetação nativa. O Alto Cotia apresenta um LAP-CI médio igual a 85, isto é, com uma qualidade excelente de conservação ambiental.

De acordo com os resultados adquiridos, analisa-se que a classe de vegetação arbórea é a categoria mais expressiva da BHRC para os três anos de estudo, embora apresentando uma diminuição contínua em função do desmatamento da vegetação para dar espaço às áreas urbanas, de forma que de 2002 a 2019 houve uma redução da área em 9,18%.

Esta AC corresponde à 98,3% da área total da Reserva Florestal do Morro Grande, a qual apresenta vegetações em diferentes estágios – pioneiro, inicial, médio e avançado –





contidas na classe de vegetação arbórea (SÃO PAULO, 2007). Destaca-se que uma porção da área de pastagem, situada à esquerda da Represa Pedro Beicht, corresponde a vegetação em estado pioneiro e inicial com influência fluvial (METZGER et al., 2006).


Segundo a EMPLASA (2006), a classe de pastagem é constituída de vegetação lenhosa de segundo crescimento, de árvores finas e compactamente dispostas (capoeira); de gramíneas com altura entre 10 e 15 cm distribuídas de forma quase contínua, e mais raramente como subarbustos e arbustos distribuídos espaçadamente (campo); e vegetação que sofre interferência dos corpos hídricos, sujeita às inundações na época de chuvas (vegetação de várzea). Esta classe também sofreu uma diminuição no período analisado, com redução de 48,96%, pelo mesmo motivo da classe de vegetação arbórea.

Salienta-se que a especulação imobiliária não se restringe somente a regiões novas, porém também em lotes já favorecidos como chácaras, fazendas, prédios e galpões industriais, de forma que as visitas de campo constataram que as classes de vegetação arbórea e pastagem foram desmatadas para avanço das classes de área urbana e indústria. Segundo Silva et al. (2017), a predominância de vegetação natural é uma um forte ponto ambiental da bacia hidrográfica, pois mantém a conservação do seu ecossistema e de seus recursos hídricos.

A classe de agropecuária foi a que mais encolheu no período, tendo sua área diminuída em 45,75% de 2002 a 2011 e em 75,93% de 2002 a 2019 devido ao abandono das atividades agrícolas pela implantação de condomínios residenciais fechados. Estas regiões de agricultura possuíam predominância de relevo levemente ondulado (declividade até 8%), o qual segundo Silva (2018) favorece a especulação imobiliária, uma vez que as áreas planas diminuem o custo de movimento de terra. A baixa quantidade dessa classe dificultou a identificação dos seus polígonos, apesar da alta resolução das imagens utilizadas como base.

As classes de área urbana, indústria e solo exposto foram as que mais cresceram no período (2002 a 2019), com um aumento da área de 114,68%, 64,09% e 21,52% respectivamente. A expansão destas classes está fortemente associada ao crescimento populacional da BHRC, cerca de 12% entre 2002 e 2019, conforme explicitado no item 4.2 (SEADE, 2020). Estas classes são caracterizadas por áreas onde a ocupação antrópica ocorreu de maneira espontânea, desprovidas de planejamento territorial por partes dos municípios compostos na bacia, ocasionando problemas ao meio físico (IPT, 2005).

Nas áreas de ocupação gradual, como conjuntos habitacionais, loteamentos e comunidades, podem ocorrer processos erosivos, movimentação de sedimentos e assoreamento




de corpos hídricos, inundações e deficiências de saneamento em função do parcelamento do solo e ausência de infraestrutura urbana (SABESP, 2019). Já, os complexos industriais podem gerar erosão durante sua fase de implantação e contribuir na poluição do ar, do solo e das águas superficiais durante sua fase de operação. Por fim, os impactos ambientais do solo exposto são os mesmos da indústria (TONIOLO, 2020).

A classe de aglomerado subnormal (favelas) apresentou uma oscilação no período, com uma redução de área de 4,90% entre 2002 e 2011, e um aumento de área 4,50% entre 2011 e 2019. Esta classe é caracterizada, segundo EMPLASA (2006), como moradias precárias feitas de madeiras (barracos) ou de alvenaria sem revestimento, localizadas de forma isolada ou na periferia dos municípios e muitas vezes em áreas de declividade mais elevada e mananciais. Enquanto o lançamento de resíduos sólidos e das águas servidas causa instabilidade nas encostas podendo gerar deslizamentos de terra; já nas áreas de baixada os problemas ambientais mais usuais são poluição dos cursos d'água, assoreamento e inundação (SÁNCHEZ, 2013). Como exemplo, as comunidades mais expressivas são Jardim Elzinha, Dois Córregos, CSU e Savoy, localizadas na AC COTI03900 (município de Carapicuíba).

A classe de hidrografia também apresentou oscilação, sendo um aumento percentual de área de 17,40% para 2011 e uma redução de 14,27% para 2019. Este aumento do período de 2002 a 2019 pode ser explicado pelo fato que a precipitação média de junho de 2011 foi bem maior que do que a precipitação média de junho de 2002, mês no qual as imagens orbitais foram adquiridas: 2,03 mm e 55,53 mm de precipitação, respectivamente (DAEE, 2020). Já o decréscimo do período de 2011 a 2019 pode ter sido ocasionado pelo assoreamento dos corpos hídricos e aterramento de nascentes e açudes para dar espaço aos núcleos urbanos.

A classe de reflorestamento se manteve constante desde 2002 a 2019, com uma área correspondente à 6,87 km<sup>2</sup>, presente em todas AC's, exceto na COGR00900. Esta classe é caracterizada por vegetação arbórea e homogênea, plantada para fins econômicos. As espécies predominantes são eucalipto e pinus, sendo usada por empreendimentos industriais (IPT, 2005). As regiões reflorestadas embora proporcionem proteção ao solo, podem gerar erosão em decorrência do manejo inadequado do solo (SÃO PAULO, 2007).

A classes de aterro sanitário e mineração também se mantiveram constantes em todo período com uma área de 31,58 ha e 42,26 ha respectivamente, caracterizando-se automaticamente como áreas degradadas, devido aos processos erosivos, contaminação do solo, e assoreamento e poluição dos corpos hídricos. Existe um único polígono de aterro sanitário,



localizado no município de Embu das Artes e quatro polígonos de mineração, pertencentes à empresa Pedreira Embu com extração de areia, sendo o único empreendimento mineiro ativo dentre onze na BHRC.

Na BHRC foram encontradas 15 atividades de contaminação, localizadas no município de Cotia, sendo que oito são indústrias, seis são postos de combustíveis e um centro logístico. Os contaminantes predominantes envolvidos são: metais, combustíveis automotivos, solventes halogenados e aromáticos e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs). Do total destas atividades, duas estão em processo de investigação, cinco já estão reabilitadas, outras cinco em processo de remediação com uma sendo utilizada inclusive (centro logístico) e três sem proposta de remediação (CETESB, 2018).

Segundo o IPT (2005), a BHRC apresentou 37 pontos como áreas geradoras de sedimentos, provenientes de solo exposto (24), feição erosiva (1), uso da terra (10) e assoreamento (2), divididos em áreas urbanas parceladas ou em processo de consolidação, áreas de cabeceiras situadas em área urbana e áreas com movimento de terra. A maioria destes pontos estão localizados no município de Cotia.

Um caso icônico do impacto deletério das ações antrópicas é o aterramento contínuo da Lagoa de Carapicuíba, situada a 2.000 m da foz do Rio Cotia. Esta lagoa era uma cava de extração de agregado para construção civil, a qual foi inundada na década de 1940 (cerca de 60 hectares), devido a retificação do Rio Tietê nesta época. Contudo, a alteração de curso deste curso d'água criou uma vala de cinco metros de profundidade, transformando-se a partir da década de 1970 a maior área de descarte de resíduos a céu aberto do Estado de São Paulo. Este lixão gerou a Favela do Porto do Areia, a atrair mais de 150 famílias de catadores às margens da lagoa. O lixão foi encerrado em 2001 e a extração minerária foi cancelada em 2010, porém a lagoa se encontra hoje contaminada com metais pesados e recebendo despejo sem controle de resíduos sólidos (LUCHESE, 2014; SABESP, 2019).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este trabalho atendeu ao objetivo proposto, a demonstrar que as classes antropizadas estão exercendo pressão aos remanescentes de vegetação natural, devido ao seu crescimento territorial, ameaçando à conservação dos recursos hídricos da BHRC, de forma que são necessárias ações orientadoras de conservação ambiental nesta bacia.

A alta resolução espacial das imagens ortorretificadas melhoram a precisão do mapeamento, facilitando a identificação das classes e refinamento da geometria dos polígonos

vetorizados. Mesmo assim, as vistorias de campo foram fundamentais para identificação dos alvos, de forma que estas jamais podem ser descartadas.

Assim, recomenda-se o uso de imagens de alta resolução gratuitas, como por exemplo as do Google Earth Pro, para que gestores públicos mapeiam outras áreas de interesse, já que estes geralmente sofrem com a limitação de recursos, de forma que o mapeamento de uso do solo sirva como subsídio para tomadas de decisão sobre ordenamento territorial e planejamento ambiental.

## REFERÊNCIAS

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relação de áreas contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo**. São Paulo, CETESB, 2018. Disponível em <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2020/02/TEXT0-EXPLICATIVO-2019-12.02.20.pdf>>. Acesso em 25 jun. 2019.

DAEE. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Hidrologia – Banco de Dados Hidrológicos, 2020**. Disponível em <<http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>>. Acessado em 05 fev. 2020.

EMPLASA. EMPRESA PAULISTA DE PLANJEAMENTO METROPOLITANO. **Atlas do Uso e Ocupação do Solo dos Municípios da RMSP**, 2006. Disponível em <<https://emplasa.sp.gov.br/ProdutosCartograficos/Produto/Mapeamento/Item/Atlas-do-uso-e-ocupacao-do-solo-dos-municipios-da-RMSP>>. Acessado em 27 jul. 2019.

ESRI. **ArcGIS Desktop. Release 10.5**. Redlands Environmental Systems Research Institute, 2016.

GOOGLE. **Torne-se um especialista no mapeamento do Google: Comece a fazer seu mapa com o Google Earth e o Google Maps com estes tutoriais passo a passo**. 2017.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Uso da Terra. Manuais Técnicos em Geociências**, nº 7, ed. 3ª. IBGE, Rio de Janeiro, 2013.

IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Plano Diretor Regional da Sub-região do rio Cotia: caracterização regional**. Relatório Técnico nº 79.907-205. São Paulo, 2005.

LUCHESE, M. A retificação e regularização do Rio Tietê no século XIX e os interesses a elas vinculados. In: Tempos e escalas da cidade e do urbanismo. **Anais...** XIII Seminário de História da Cidade e do Urbanismo. PEIXOTO, E. R.; DERNTL, M. F.; PALAZZO, P. P.; TREVISAN, R. (Org.). Universidade de Brasília. Brasília, 2014.

METZGER, J. P.; ALVES, L. F.; GOULART, W.; TEIXEIRA, A. M. G.; SIMÕES, S. J. C.; CATHARINO, E. L. M. Uma área de relevante interesse biológico, porém pouco conhecida: a Reserva Florestal do Morro Grande. **Biota Neotrop**. Campinas, v. 6, n. 2, 2006.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

ORTEGA, D. J. P. **Avaliação dos Efeitos das Atividades Antrópicas na Bacia Hidrográfica do Córrego do Ipê, Município de Ilha Solteira – SP**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2011.

PACHECO, J. B. **Uso e ocupação da terra e a sustentabilidade ambiental da dinâmica fluvial das microbacias hidrográficas Zé Açú e Tracajá na Amazônia Ocidental**. 210 f. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, 2013.

PINHEIRO, A. Monitoramento e avaliação da qualidade das águas. In: ROMEIRO, A. R. **Avaliação e contabilização de Impactos Ambientais**. Campinas: Editora da Unicamp, 2004.

RODRIGUES, R. S. S. **Correlação entre Índice de Qualidade da Água e Usos Múltiplos na Bacia Hidrográfica do Igarapé da Prata, Capitão Poço / PA**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Pará, 103 f, 2018.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Servidor do Cadastro Oeste. **Mapas temáticos da Unidade Oeste – MO Sabesp**. São Paulo, 2019. 10 mapas: 118,9 x 84,1 cm. Escala: 1:20.000.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SÃO PAULO (Estado). **Relatório nº 88 219-205 – Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia do Rio Cotia: Caracterização Regional**. Drenatec Engenharia S/C Ltda & Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. São Paulo, 2007.


SEADE. FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Perfil dos Municípios Paulistas, 2020**. Disponível em <<https://perfil.seade.gov.br/>>. Acessado em 05 fev. 2020.

SILVA, D. C. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; OLIVEIRA, R. A.; LOURENÇO, R.W. Metodologia para Análise do Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 50, 2017.

SILVA, M. M. A. P. M. **Efeitos Naturais e Antrópicos na Qualidade das Águas Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba – MG Utilizando Técnicas de Geoprocessamento**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista – Campus de Jaboticabal, 89 p., 2018.

SIMONETTI, V. C.; FRASCARELI, D.; GONTIJO, E. S. J.; MELO, D. S.; FRIESE, K.; SILVA, D. C. C.; ROSA, A. H. Water quality indices as a tool for evaluating water quality and effects of land use in a tropical catchment. **International Journal of River Basin Management**, v. 17, p. 1-34, 2019.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. N.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.7, n. 2, p. 120-142, 2012.



TONIOLO, B. P. **Metodologia de Avaliação de Degradação Ambiental Utilizando Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto na Bacia Hidrográfica do Rio Cotia – SP.** 123 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, 2020.

VLAMI, V.; ZOGARIS, S.; DJUMA; KOKKORIS, I. P.; KEHAYIAS; DIMOPOULOS, P. A Field Method for Landscape Conservation Surveying: The Landscape Assessment Protocol (LAP). **Sustainability**, v. 11, 2019.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 452 f., 2005.



www.editorapublicar.com.br  
contato@editorapublicar.com.br  
@epublicar  
facebook.com.br/epublicar

PESQUISAS MULTIDISCIPLINARES EM

# Ciências Exatas

## 3

RAFAEL LEAL DA SILVA  
MILSON DOS SANTOS BARBOSA  
ROGER GOULART MELLO  
ORGANIZADORES



**2022**



www.editorapublicar.com.br  
contato@editorapublicar.com.br  
@epublicar  
facebook.com.br/epublicar

PESQUISAS MULTIDISCIPLINARES EM

# Ciências Exatas

## 3

RAFAEL LEAL DA SILVA  
MILSON DOS SANTOS BARBOSA  
ROGER GOULART MELLO  
ORGANIZADORES



2022