

# CIÊNCIAS EXATAS E INOVAÇÃO:

PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO  
E APLICABILIDADE EM SOCIEDADE

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



23 50.942 <b>V</b> VANADIUM	24 51.996 <b>Cr</b> CHROMIUM	25 54.938 <b>Mn</b> MANGANESE	26 55.845 <b>Fe</b> FERRO
41 92.906 <b>Nb</b> NIOBIO	42 95.94 <b>Mo</b> MOLIBDÊNIO	43 (98) <b>Tc</b> TECNETIO	44 101.07 <b>Ru</b> RUTÊNIO
73 180.95 <b>Ta</b> TÂNTALO	74 183.84 <b>W</b> WOLFRÂMO	75 186.21 <b>Re</b> RÊNIO	76 190.23 <b>Os</b> OSMIO
105 (268) <b>Db</b> DUBNIO	106 (271) <b>Sg</b> SEABÓRGIO	107 (272) <b>Bh</b> BOHRIUM	108 (277) <b>Hs</b> HASSÍUM
59 140.91 <b>Nd</b> NÍQUELO	60 144.24 <b>Pm</b> PROMÉCIO		



2021

# CIÊNCIAS EXATAS E INOVAÇÃO:

PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO  
E APLICABILIDADE EM SOCIEDADE

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

23 50.942	24 51.996	25 54.938	26
V VANADIUM	Cr CHROM	Mn MANGAN	Fe EISEN
41 92.906	42 95.95	(98)	44 101.07
Nb NIOB	Mo MOLYBDAN	Tc TECHNETIUM	Ru RUTHENIUM
73 180.95	74 183.84	75 186.21	76 190.23
Ta TANTAL	W WOLFRAM	Re RHENIUM	Os OSMIUM
(267)	105 (268)	106 (271)	107 (272)
Db DUBNIUM	Sg SEABORGIUM	Bh BOHRIUM	Hs HASSIUM



2021

---

2021 by Editora e-Publicar  
Copyright © Editora e-Publicar  
Copyright do Texto © 2021 Os autores  
Copyright da Edição © 2021 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**  
Roger Goulart Mello  
**Projeto gráfico e Edição de Arte**  
Patrícia Gonçalves de Freitas  
**Revisão**  
Os autores

## **CIÊNCIAS EXATAS E INOVAÇÃO: PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO E APLICABILIDADE EM SOCIEDADE, VOL. 1**

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**

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  
Diogo Luiz Lima Augusto – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
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  
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  
João Paulo Hergesel - Pontifícia Universidade Católica de Campinas



2021

---

---

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  
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  
Willian Douglas Guilherme - Universidade Federal do Tocantins

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

C569 Ciências exatas e inovação [livro eletrônico]: perspectivas de desenvolvimento e aplicabilidade em sociedade: volume 1 / Organizadores Milson dos Santos Barbosa, Rafael Leal da Silva, Roger Goulart Mello. – Rio de Janeiro, RJ: e-Publicar, 2021.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-89950-66-0

1. Ciências exatas – Pesquisa – Brasil. I. Barbosa, Milson dos Santos. II. Silva, Rafael Leal da. III. Mello, Roger Goulart.  
CDD 510.7

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

**Editora e-Publicar**

Rio de Janeiro – RJ – Brasil  
contato@editorapublicar.com.br  
www.editorapublicar.com.br



2021

---

## **Apresentação**

As inovações de processos e produtos são resultado de conhecimentos específicos aplicados durante o desenvolvimento de tecnologias, especialmente na fabricação de máquinas e equipamentos. Contudo, o progresso tecnológico em países desenvolvidos ocorre de modos muito diferentes daqueles utilizados nos países em desenvolvimento. Enquanto os países desenvolvidos investem no ensino adequado das ciências exatas para a invenção de tecnologias inteiramente novas, os países subdesenvolvidos tendem a buscar a inovação por meio da absorção e adaptação de tecnologias já desenvolvidas em outros países. O Brasil é um exemplo da escassez de competências nas áreas de ciências exatas e engenharia, essenciais para o desenvolvimento tecnológico de indústrias e, conseqüentemente, para a melhoria do país.

Diante deste cenário, este e-book “Ciências exatas e inovação: perspectivas de desenvolvimento e aplicabilidade em sociedade” foi produzido como um esforço de fomentar a aplicação das ciências exatas, especialmente no Brasil que ainda carece de um reconhecimento da importância dessas ciências para o desenvolvimento da sociedade. O e-book contém um conjunto de com 14 artigos que agrupam estudos/pesquisas que utilizaram conceitos e metodologias baseadas em ciências sob diferentes perspectivas e para diversos públicos.

Portanto, são apresentados projetos práticos, experiências de pesquisas empíricas e métodos implementados no Brasil, que certamente contribuirão para o avanço da inovação no país.

Por último, agradecemos aos diversos pesquisadores por todo comprometimento para atender demandas acadêmicas de estudantes, professores e da sociedade em geral, bem como, destacamos o papel da Editora e-Publicar, na divulgação científica dos estudos produzidos que contribuirão para a difusão do conhecimento.

Desejamos a todos uma excelente leitura!

**Milson dos Santos Barbosa**

# Sumário

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	10
ANÁLISE QUÍMICO DO SOLO PARA DETERMINAR A NECESSIDADE DE CALAGEM EM AGRICULTURAS FAMILIARES NA REGIÃO RURAL DO MUNICÍPIO DE PEDREIRAS-MA.....	10
	Erica dos Santos Felix Raquel Maria Trindade Fernandes Alamgir Khan
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	24
MOOC E GAMIFICAÇÃO COMO ESTRATÉGIAS DE ENSINO DE SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO .....	24
	Jean Rodrigo da Silva Christiane Heemann Anita Maria da Rocha Fernandes Daniela Souza Moreira da Silva
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	36
PRODUÇÃO DE TECNOLOGIAS RELACIONADAS AOS REATORES NUCLEARES: UM MAPEAMENTO TECNOLÓGICO.....	36
	Cleide Mara Barbosa da Cruz Anderson Rosa da Silva Nadja Rosele Alves Batista Mário Jorge Campos dos Santos Jonas Pedro Fabris
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	47
APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMA: COMO AUXILIAR NO ENSINO DA QUÍMICA.....	47
	Euana das Chagas Alex da Silva Cirino
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	56
APLICAÇÃO DA ELETROQUÍMICA DE MANEIRA DIDÁTICA: CONSTRUÇÃO DE UMA PILHA A PARTIR DE FORMA DE GELO.....	56
	Aluisie Picolotto Giovana Wanessa Franke Bohn Bruna Costa Sabrina Grandó Cordeiro Ani Caroline Weber Lucélia Hoehne

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>63</b>
ATIVIDADE BACTERICIDA, TOXICIDADE FRENTE <i>Artemia salina</i> Leach E FENÓLICOS TOTAIS DO ÓLEO ESSENCIAL OBTIDO DE <i>Cinnamomum zeylanicum</i> Blume.....	63
	Thércia Gabrielle Teixeira Martins Leila da Silva Silveira Liane Batista da Cruz Soares Iago Pereira Mendonça Lizandra Kelly Serra Nunes Josiane da Silva Pinto Ari Pereira de Araújo Neto Gustavo Oliveira Everton
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>75</b>
FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIMICROBIANA E TOXICIDADE FRENTE <i>Artemia salina</i> Leach DO ÓLEO ESSENCIAL OBTIDO DE <i>Thymus vulgaris</i> .....	75
	Thércia Gabrielle Teixeira Martins Leila da Silva Silveira Liane Batista da Cruz Soares Ari Pereira de Araújo Neto Mayra Fernanda Froes Rodrigues Ferreira Elson Fonseca Costa Nilgicy Maria de Jesus Amorim Gustavo Oliveira Everton
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>86</b>
CONTEÚDO FENÓLICO TOTAL, TOXICIDADE E ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE <i>Pimpinella anisum</i> , <i>Origanum vulgare</i> e <i>Rosmarinus officinalis</i> .....	86
	Thércia Gabrielle Teixeira Martins Leila da Silva Silveira Carlos Eduardo Pereira Conceição Francilidia Oliveira Vitorino de Assunção Conceição Liane Batista da Cruz Soares Leandra Maria Gonçalves Ari Pereira de Araújo Neto Gustavo Oliveira Everton
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>100</b>
O SISTEMA DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DA MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE FONTE SOLAR NO ESTADO DO PARANÁ: DESENVOLVIMENTO E DIFUSÃO DO CONHECIMENTO. ....	100
<b>DOI: 10.47402/ed.ep.c202176025578</b>	Alcides Pereira da Silva Júnior Décio Estevão do Nascimento

<b>CAPÍTULO 10</b> .....	119
DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA REABILITAÇÃO DE MÃOS, EXTENSOR/FLEXOR DE DEDOS .....	119
<b>DOI: 10.47402/ed.ep.c20217619660</b>	Carolina Berton Sanches Marcio Antonio Bazani Gustavo Mauro Witzel Machado Alvaro Augusto Ferreira
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	130
BIO-ÓLEO E RENDIMENTOS DA PIRÓLISE DE BIOMASSA RESIDUAL DE <i>PINUS</i> : SUSTENTABILIDADE E APLICAÇÕES SOCIO-AMBIENTAIS .....	130
<b>DOI: 10.47402/ed.ep.c202176210660</b>	Jeferson Benedetti Eilert Ana Claudia de Jesus Maira Casagrande Daiane Leite Jaqueline Nicolini Rodrigo Hinojosa Valdez Keller Paulo Nicolini
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	146
DESEMPENHO DE REATOR UASB NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE LACTICÍNIOS.....	146
<b>DOI: 10.47402/ed.ep.c202176311660</b>	Juliana Salomão Maria Anabela da Graça Alexandre Leitão Ramiro José Espinheira Martins
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	156
CARACTERIZAÇÃO GEMOLÓGICA DA ESMERALDA PROVENIENTE DO SÍTIO PANATIS, ENTRE OS MUNICÍPIOS DE TENENTE ANANIAS E MARCELINO VIEIRA, NO RIO GRANDE DO NORTE.....	156
	Bianca de Oliveira Nascimento Danilo Silvestre Corrêa Felipe Carlos Pereira Daniela Teixeira Carvalho de Newman José Albino Newman Fernández
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	177
DESENVOLVIMENTO DE AMPLIFICADOR SÍNCRONO PARA CARACTERIZAÇÃO DE IMPEDANCIA DE DISPOSITIVOS INTERDIGITADOS. .....	177
<b>DOI: 10.47402/ed.ep.c202176412660</b>	Juliane do Carmo Sales Ricardo Ataíde de Lima







# CAPÍTULO 1

## ANÁLISE QUÍMICO DO SOLO PARA DETERMINAR A NECESSIDADE DE CALAGEM EM AGRICULTURAS FAMILIARES NA REGIÃO RURAL DO MUNICÍPIO DE PEDREIRAS-MA

**Erica dos Santos Felix**, Graduada em Licenciatura em ciências habilitação em química programa DARCY Ribeiro – Pedreiras - MA

Universidade Estadual do Maranhão

**Raquel Maria Trindade Fernandes**, Docente e Pesquisadora, Departamento de Química – Campus São Luís - MA

Universidade Estadual do Maranhão

**Alamgir Khan**, Docente e Pesquisador, Departamento de Química – Campus São Luís - MA  
Universidade Estadual do Maranhão

### RESUMO

Os solos brasileiros em sua maioria são ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes, devido à acidificação do solo que pode acontecer naturalmente com ou sem a prática da agricultura, a partir de vários fatores, como: a chuva que com a reação do  $\text{CO}_2$  na atmosfera, acaba levando íons de hidrogênio para o solo tornando-o ácido; a lixiviação das bases e o uso de agrotóxicos nitrogenados. Portanto, é necessária a prática de correção dos solos ácidos por meio de processos como a calagem e a gessagem, criando melhores condições para fertilidade do solo. O presente trabalho aborda a acidez do solo em agriculturas familiares, para demonstrar a forma mais correta e viável de corrigir o solo sem danificá-lo e a necessidade de calagem nas amostras de solos da região rural do município de Pedreiras - MA. As análises químicas foram realizadas seguindo as normas dos parâmetros tradicionais de solo da EMBRAPA. Foi observado o pH 6,6 e 6,9 para as amostras 01 e 02 respectivamente, sugerindo que os solos estão ácidos na classificação química e na agrônômica estão com pH alto para o cultivo. A forma mais utilizada de neutralizar o solo ácido é a calagem que faz uso de calcário, esse método requer uma análise completa do solo, para que possa fazer o cálculo da necessidade de calagem e não ocorrer erros na aplicação causando a supercalagem. As agriculturas familiares, na região de interesse, fazem uso do plantio direto, onde os resíduos vegetais tem maior contato com o solo, fazendo com que a matéria orgânica fixe por mais tempo, beneficiando o solo e evitando sua acidificação. Conforme os resultados, podemos concluir que as duas amostras não têm necessidade dessa elevação, tendo seus resultados 68,09% e 75,51%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agriculturas familiares, Calagem, Solo, Análise Química.

### INTRODUÇÃO

A análise do solo é a ferramenta básica para identificar a necessidade de calagem e a quantidade de calcário a ser aplicado para neutralizá-lo. Segundo Lopes et. al., (2002. p.23), “Somente através da análise química do solo pode-se chegar à quantidade adequada de calcário a aplicar, sendo que a falta ou o excesso podem prejudicar as plantas cultivadas”. A prática da calagem, tem se tornado comum no Brasil. Porém, ultimamente com a popularização do método



de calagem vem acontecendo a supercalagem. Isso se deve a incorporação inadequada do calcário no solo, resultado da falta de análise para identificar o processo mais adequado para aquele tipo de solo (FERNANDA e SORATTO, 2012).

“Os efeitos da aplicação de calcário nas propriedades físico-químicas do solo podem alterar significativamente ou não as propriedades físicas do solo, em função da sua característica mineralógica e da dose de calcário aplicada” (PRADO, 2003, p.2). A forma como o calcário é aplicado influencia muito, pois uma aplicação na camada superficial de 0-10 cm de profundidade faz com que esta camada receba o dobro do calcário recomendado, podendo acarretar problemas de natureza química bem conhecidos, como a diminuição da disponibilidade de micronutrientes no solo e conseqüentemente desequilíbrio nutricional na planta. Em decorrência da reação química do material corretivo aplicado ao solo, têm-se as conhecidas alterações químicas, como: aumento do valor pH, a neutralização do ferro e do alumínio trocável, a insolubilização do manganês, o fornecimento de cálcio e magnésio, as modificações da capacidade de troca catiônica efetiva, alteração da disponibilidade de micronutrientes entre outros efeitos, onde essas reações químicas beneficiam o solo. (LOPES et. al. 1990).

Os pequenos agricultores em geral não têm a preocupação de verificar se o solo precisa de correção da acidez e muitas vezes fazem uso de agrotóxicos de maneiras indevidas, o que acaba acarretando ainda mais a acidez do solo, levando-o a uma má produtividade. Já existem programas que tem a finalidade de oferecer suporte para agricultores de base familiar na correção do solo. A secretária de agricultura do estado do Rio Grande do sul tem um programa que tem como objetivo determinar a necessidade de calagem do solo e disponibilizar recursos para compra de calcário (FERNANDA et. al., 2017). Já a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) do Rio de Janeiro, desenvolveu uma unidade móvel que faz análises de solos para recomendações de adubação e calagem, onde o principal foco é os produtores de hortaliças da região do Rio de Janeiro. A unidade móvel é chamada de Fertmovel e já está sendo vista a possibilidade de ser replicada para o estado do Tocantins e Maranhão (EMBRAPA, 2016).

As agriculturas familiares na sua maioria fazem uso do sistema de plantio direto. Pois, essa prática é mais apropriada para pequenas áreas, onde se tem menos mão de obra, sem necessidade de uso de máquinas. O sistema de plantio direto (SPD) é quando o plantio acontece em cima de resíduos vegetais deixados do plantio anterior. (ZAMBROSI, 2004). O SPD tem como principais diferenças comparadas ao sistema de plantio convencional, a redução de acidez



nas camadas superficiais e o maior acúmulo da matéria orgânica. O sistema de plantio direto tem baixa resposta das culturas com aplicação do calcário. Segundo Zambrosi (2004), isso se deve a menor atividade do Al na solução do solo e complexação do elemento com a matéria orgânica. A importância do estudo de solos vem da necessidade de manutenção, a longo prazo, da fertilidade do solo, onde a análise e correção da acidez é parte fundamental das práticas de manejo para alcançar a sustentabilidade. O objetivo do presente trabalho foi analisar amostras de solos de agriculturas familiares da região rural do município de Pedreiras - MA, interpretar os resultados e demonstrar a forma mais correta e viável de corrigir o solo sem danificá-lo.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Sabemos que em geral os solos brasileiros são ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes, devido à própria pobreza das bases ou pelos processos de formação que favorecem a remoção ou lavagem de elementos básicos, como potássio, cálcio, magnésio e sódio, na utilização da maioria dos fertilizantes químicos e outros (LOPES et. al., 2002). Portanto, é necessária a prática de correção do solo ácido por meio de processos como a calagem e a gessagem criando melhores condições para a fertilidade do solo.

A acidez do solo limita a produção agrícola em decorrência da toxicidade causada por Al e Mn, causando a diminuição de nutrientes para as plantas impedindo seu desenvolvimento. A toxicidade por Al é o fator que mais limita a produção das culturas em solos ácidos. Apesar de não existir um indicador estreitamente associado a fito toxicidade do Al no solo, o pH é utilizado universalmente para diagnosticar o estado de acidez do solo e indicar a necessidade ou não de calagem (NICOLODI, 2008).

A acidificação do solo é um fenômeno que ocorre naturalmente, com ou sem a prática da agricultura. A reação do solo informa acerca do estado geral e do comportamento do solo. É a partir da reação que podemos identificar os três tipos de solo: ácidos, neutros e básicos.

Reação do solo é o grau de acidez ou de alcalinidade de um solo. A reação do solo está ligada à sua fertilidade porque várias condições importantes, tais como estrutura, solubilidade de minerais, disponibilidade de nutrientes, atividade de microrganismos e absorção de íons pela planta são influenciadas pela reação do solo. (RONQUIM, 2010, p.10).

A acidificação dos solos é comum em regiões tropicais onde há a lixiviação dos componentes das rochas, como  $\text{Ca}^{2+}$  e o  $\text{Mg}^{2+}$ , tornando o solo ácido. Outro fator de acidificação é o intemperismo que acontece provocado pela temperatura, pluviosidade e vegetação do solo. Já em solos cultivados a acidificação pode acontecer em decorrência da adubação, principalmente adubos nitrogenados (NEPAR-SBCS, 2017).



A unidade básica de medida da acidez é o pH, que é o logaritmo inverso da concentração de H<sup>+</sup> na solução (pH = log 1/[H<sup>+</sup>]).

O pH (potencial hidrogeniônico) indica a quantidade de íons hidrogênio (H<sup>+</sup>) que existe no solo. Logo, conclui-se que um solo é ácido quando possui muitos íons H<sup>+</sup> e poucos íons cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>) e potássio (K<sup>+</sup>) adsorvidos em seu complexo coloidal de troca (RONQUIM, 2010, p.11).

De acordo com o fator que ocasiona a acidez do solo é possível identificar dois tipos de acidez: ativa e potencial. Sendo que a acidez potencial pode ser dividida em trocável e não trocável. (SCHEID LOPES, et al. 1990).

Denomina-se acidez ativa a parte do hidrogênio que está dissociada, ou seja, na solução do solo, na forma de H<sup>+</sup> e é expressa em valores de pH (LOPES, et al. 1990, p.6).

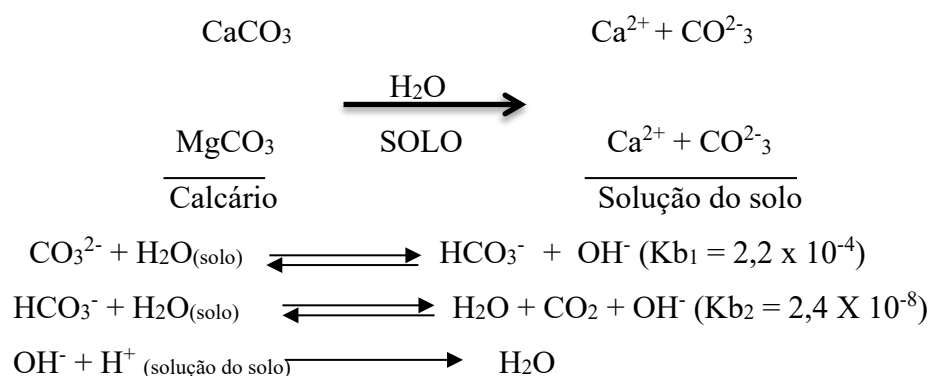
A acidez trocável refere-se aos íons H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> que estão retidos na superfície dos coloides por forças eletrostáticas. A quantidade de hidrogênio trocável, em condições naturais, parece ser pequena. A acidez não trocável é representada pelo hidrogênio de ligação covalente, associado aos coloides com carga negativa variável e aos compostos de alumínio. A acidez potencial corresponde à soma da acidez trocável e da acidez não trocável do solo (LOPES, et al. 1990, p.7).

Com o crescente desenvolvimento da agricultura, houve uma intensificação na correção desses solos, onde é principalmente utilizado o método da calagem (adubação da terra com calcário).

A calagem é considerada como uma das práticas que mais contribui para o aumento da eficiência dos adubos e consequentemente da produtividade e da rentabilidade agropecuária (LOPES, et al 1990, P.1).

Mas existe também o método de gessagem sendo importante conhecer os dois métodos para saber qual melhor se adequa a necessidade do solo. A aplicação do calcário tem como objetivo a redução da solubilidade de certos elementos tais como Al e Mn, que em elevadas concentrações, podem causar efeitos tóxicos nas plantas (CAIRES, 2002).

A equação de neutralização do solo ácido com uso do calcário, mostra como a neutralização acontece na prática: (ALCARDE, 2005)



ALCARDE (2005, p.8) diz que:



Essas equações mostram que no solo o calcário libera  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ ; a base química, isto é, o componente que proporciona a formação de  $\text{OH}^-$  é o  $\text{CO}_3^{2-}$  (e posteriormente o  $\text{HCO}_3^-$ ); o valor da constante de ionização ( $K_b$ ) mostra que o  $\text{CO}_3^{2-}$  é uma base fraca, isto é, a reação de formação de  $\text{OH}^-$  é relativamente lenta e parcial; e o  $\text{OH}^-$  produzido neutralizará o  $\text{H}^+$  da solução, responsável pela sua acidez.

Ao contrário do que muitos pensam a gessagem por si só não neutraliza o solo ácido. Ela é apenas um acompanhante do processo da calagem, pois como o calcário não alcança as camadas mais profundas, o gesso (sulfato de cálcio) chega até a subsuperfície fornecendo cálcio e enxofre, possibilitando um maior crescimento radicular, (RONQUIM, 2010).

Quando se faz a calagem, o calcário geralmente não desce com facilidade no perfil do solo. Resulta daí que a acidez é corrigida somente na superfície e não em profundidade. Assim, as raízes encontram dificuldade para se desenvolver nas camadas situadas abaixo daquela em que o calcário foi incorporado. Como consequência, a planta é menos capaz de absorver os nutrientes do solo. A utilização do gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) controla esse problema, pois, graças ao íon acompanhante,  $\text{SO}_4^{2-}$ , o  $\text{Ca}^{2+}$  do gesso torna-se capaz de descer pelo perfil. (RONQUIM, 2010, p.14).

O gesso agrícola pode ser utilizado como complemento da calagem, sendo aplicado de 30 a 60 dias depois da calagem, dando o tempo para o solo reagir com o calcário.

O tempo de aplicação do calcário deve ser de 1 a 3 meses antes da semeadura (MONTE SERRAT, et al. 2002), porque se o calcário for aplicado pouco tempo antes da plantação, o solo não terá tempo suficiente para reagir e obter os resultados esperados. Já a frequência de aplicação de calcário depende de vários fatores, como: textura de solo, tipo de cultura e quantidade de calcário aplicada. Porém, a melhor forma de determinar quando o solo precisa de uma nova calagem é fazendo análises do solo pelo menos a cada dois anos (QUAGGIO, 2000).

A aplicação do gesso agrícola é também importante, pois ele tem a capacidade de chegar a camadas mais profundas onde o calcário não alcança (MIYAZAWA et al. 1996).

Os solos arenosos apresentam teores de argila de até 20%. São solos com maior proporção de areia. Por isso secam mais rapidamente. A movimentação da água, para as camadas mais profundas do solo, é feita com muita facilidade. E nesta maior facilidade, a água carrega os nutrientes essenciais para os vegetais. São solos de baixa fertilidade natural, o pH é baixo, apresentam teores muito baixos de matéria orgânica, baixa Capacitação de Troca de Cátions, pobreza de nutrientes, deficiência de cálcio e presença de alumínio tóxico nas camadas mais profundas. (BRAGA, 2021)

A aplicação do calcário em solos arenosos precisa de um preparo diferente dos solos argilosos, pois sendo um solo mais seco é recomendada a irrigação do solo antes da aplicação. “Mesmo quando adequadamente misturado ao solo, o calcário terá pouco efeito sobre o H, se o solo estiver seco. A umidade é essencial para que o calcário reaja no solo.” (ALCARDE, 2005, p.2). O pH ideal para agriculturas está em torno de 5,5 a 6,5, mas é importante saber que para cada tipo de cultivo existe uma faixa de pH recomendada (MONTE BRAGA, 2011). O método da saturação por bases é o mais utilizado para calcular a necessidade da calagem e tem a finalidade de elevar a porcentagem de saturação por bases (V%) a um valor desejado, de acordo com a cultura. (ALCARDE, 2005). A fórmula é a seguinte:

$$NC = \frac{T(V_2 - V_1)}{PRNT}$$

Onde: NC = necessidade de calcário (t/ha), para uma camada de incorporação de 0-20 cm; T = capacidade de troca de cátions (cmolc/dm<sup>3</sup>), medida a pH 7,0; V<sub>2</sub> = porcentagem de saturação por bases desejada; V<sub>1</sub> = porcentagem de saturação por bases do solo amostrado; PRNT = poder relativo de neutralização total do calcário em %. O mais recomendado é que ele seja a 100%. Mas podendo ser encontrado a 80% e 65 %.

## METHODOLOGIA

### AMOSTRAGEM:

A amostragem do solo foi feita no mês de setembro em duas propriedades de agriculturas familiares de plantio de milho, arroz e feijão. O local da realização da amostragem foi em duas propriedades de agriculturas familiares. Onde a amostra 01 foi coletada no povoado Manduri e a amostra 02 no povoado Barriguda (Figura - 1).



Figura 1 - Locais de amostragem e coleta de amostras.



(Fonte: Autora, 2021)

Nas duas propriedades a área foi dividida em duas glebas conforme a diferença de topografia, vegetação e cor do solo. Depois foram colhidas amostras simples com profundidade de 0-20 cm por toda a área em pontos em ziguezague. As amostras simples foram misturadas em um balde e retirada uma amostra composta de 500 g.

As duas áreas de amostragem possuem  $\frac{1}{2}$  e 4 há, amostras 01 e 02 respectivamente. Tendo como vegetação original o cerrado e latossolos vermelho escuro húmico, característicos do município de Pedreiras - MA. O solo da área estudada tem pouco tempo de cultivo, apenas 6 e 4 anos. As amostras foram recolhidas por toda a área, conforme o tipo de topografia. Na profundidade de até 20 cm. Os agricultores das áreas de amostragem nunca fizeram correção do solo com calcário ou gesso agrícola. O agricultor da amostra 01 faz uso de pesticidas no controle de pragas. A cultura predominante das agriculturas familiares de Pedreiras é o feijão, milho e arroz. De acordo com a análise granulométrica o solo se apresentou arenoso (amostra 01) e siltoso (amostra 02). O preparo do solo é pelo método de plantio direto, não se fazendo uso da aração e da gradação do solo.





## ANÁLISE QUÍMICA

As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Química do Solo da Universidade Federal do Piauí – UFPI e posteriormente foram feitas às análises químicas seguindo os parâmetros tradicionais de análise do solo da EMBRAPA.

*Acidez Ativa ( $H^+$ ):* O método potenciômetro foi utilizado para a determinação do pH. As amostras de solo para análises foram determinadas numa forma de suspensão de solo com água destilada e solução salina (KCl 1N ou  $CaCl_2$  0,01 M) (SOBRAL et. al., 2015). A acidez ativa foi medida em água destilada e medida com potenciômetro de eletrodo combinado também.

*Acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ):* A extração do sobrenadante para determinação da acidez potencial foi realizada com a solução de acetato de cálcio a pH 7.0. A solução de acetato de cálcio foi aferida com potenciômetro, empregando ácido acético glacial ou hidróxido de cálcio e determinada por titulometria com solução de hidróxido de sódio 0,0606 N (EMBRAPA, 1997).

*Determinação do Ca, Mg e Al:* A extração desses elementos do solo foi feita com uma solução de KCl na concentração de 1N. Foi utilizado o indicador azul de bromotimol e a determinação do Al foi feita por titulometria com NaOH 0,025 N. No mesmo Erlenmeyer, foi utilizada água de bromo para destruir o azul de bromotimol e posteriormente foi adicionado 6,5ml do coquetel tampão, 4 gotas do indicador *Eriochrome black* e titulado imediatamente, com a solução de EDTA 0.0125 N para determinação do  $Ca^{++}$  e  $Mg^{++}$ ), conjuntamente. (EMBRAPA, 1997)

*Determinação K e Na:* O K e Na foi extraído com HCl 0,05N, depois filtrado e determinado em fotômetro de chama, utilizando o filtro próprio do potássio e outra amostra com filtro de sódio. Caso a leitura ultrapasse a do padrão utilizado, é necessário fazer a leitura e diluir a solução. Com o fator  $f_k$ , preparando 4 soluções padrão de  $K^+$  e  $Na^+$  contendo cada uma 0,01 - 0,02 - 0,03 e 0,04 cmolc/L. (EMBRAPA, 1997)

*Determinação do P:* A extração do P foi determinada seguindo-se o método de *Mehliche* utilizando-se o calorímetro. (EMBRAPA, 1997).

*Granulometria:* A análise física granulométrica do solo foi feita pelo método da pipeta, que baseia-se na velocidade de queda das partículas que compõem o solo. Fixa-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água, após a adição de um dispersante químico (soda ou calgon). Pipeta-se um volume da suspensão, para determinação da argila que



seca em estufa, sendo posteriormente pesada. As frações grosseiras (areia fina e grossa) são separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais. O silte corresponde ao complemento dos percentuais para 100% (EMBRAPA, 1997).

## DISCUSSÃO

A faixa de pH desejável para crescimento ideal da planta varia entre as plantações. Enquanto algumas crescem melhor na faixa 6,0 a 7,0 outras crescem bem em condições levemente ácidas (NUTRIÇÃO DE SAFRAS, 2014).

De acordo com os valores obtidos para o pH da solução do solo, observou-se que na profundidade de 0 – 20 cm apresentou pH 6,6 para amostras 01 e 6,9 para amostra 02. Segundo a tabela de classificação de pH de Alvarez (Tabela 01), podemos perceber que os solos analisados se encontram com acidez fraca na classificação química, já na agrônômica estão com pH alto para o cultivo. Conforme o cultivo das propriedades onde foram feitas as amostragens, podemos perceber que o solo está bom para o cultivo, com exceção do arroz que requer um pH entre 5,7 e 6,2. Podendo ser cultivado em pH mais baixos que o recomendado, mas solos com pH acima de 6,2 o arroz não se desenvolve bem (Criar e Plantar, 2013).

Tabela 1 - Resultados da análise química do solo

Característica Química	Amostra 01	Amostra 02
pH	6,6	6,9
Al <sup>3+</sup> (cmol/dm <sup>3</sup> )	0,06	0,1
Ca <sup>2+</sup> (cmol/dm <sup>3</sup> )	3,1	2,77
Mg <sup>2+</sup> (cmol/dm <sup>3</sup> )	1,03	0,92
K <sup>+</sup> (cmol/dm <sup>3</sup> )	0,1	0,1
Na <sup>+</sup> (cmol/dm <sup>3</sup> )	3,4	3,4
P (cmol/dm <sup>3</sup> )	0,49	0,39
H + Al <sup>3+</sup> (cmol/dm <sup>3</sup> )	1,94	1,2

(Fonte: Autora, 2021)

Em relação ao feijão, este tem preferência pelos solos cujo pH varia entre 6,5 e 7 (Criar e Plantar, 2013).

o milho possui baixa tolerância a pH baixo (<5,0) no solo, quando a toxidez por alumínio reduz o desenvolvimento radicular e a toxidez por manganês reduz o desenvolvimento vegetal. O pH ideal é em torno de 6 – 7,2 (GAZZIERO, 1998).

A acidez potencial corresponde ao somatório da acidez trocável e acidez não trocável que se encontram adsorvidas (ligadas à CTC do solo). De acordo com os valores obtidos, as amostras 01 e 02 apresentaram 1,94 e 1,2 respectivamente. podemos dizer que está muito baixa, sendo boa para o solo, pois indica que está com níveis baixos de alumínio e íons de hidrogênio.

A soma de bases (valor S) é a soma dos principais cátions trocáveis do solo ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ), é expressa em  $\text{cmolc/kg}$  e traz informações sobre o montante de cátions disponível para as plantas (GATIBONI, 2000, p.23).

Antes de calcular o SB é necessário a transformação do K em Na, expressos em  $\text{mg/dm}^3$  para  $\text{cmolc/dm}^3$ . Com a seguinte formula: K ou Na ( $\text{cmolc/dm}^3$ ):  $\text{mg/dm}^3/391$ . Obtínhamos a quantidade de K e Na 0,0002 e 0,008  $\text{cmolc/L}$  nas amostras e observa que as duas amostras demonstraram mesma quantidade de íons no solo. Então, a quantidade de soma de bases (SB) para amostra 01 e 02 foi obtida 4,14 e 3,7  $\text{cmolc/dm}^3$ , respectivamente. O resultado da soma das bases das duas amostras está em um nível bom. Isso se deve ao ótimo nível de bases presente no solo.

Tabela 2 - Interpretação Da Soma das Bases (SB)

Soma das Bases (SB) $\text{cmolc/dm}^3$	Muito Baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito Bom
	< 0,61	0,61 – 1,80	1,81 – 3,60	3,61 – 6,00	> 6,00

(Fonte: MENEGHETTI, 2018)

A Capacidade de Troca de Cátions Efetiva (CTC) (t) mede a quantidade de cargas negativas que estão presentes no solo, (BORTOLUZZI et. al., 2009). De acordo com análise químico do solo foi observado 4,2 e 3,8  $\text{cmolc/dm}^3$  de CTC nas amostras 01 e 02 dos solos respectivamente.

A porcentagem de saturação por bases (V%) foi determinado através da formula  $V (\%) = (\text{SB} \times 100)/T$ , pelos os cátions básicos. O valor V é utilizado como um indicativo da fertilidade do solo, onde são considerados solos ideais para os cultivos aqueles com valor V maior que 50 a 70% (dependendo da cultura e do manejo utilizado). O valor V também é utilizado na classificação de solos, onde solos com  $V > 50\%$  são classificados como eutróficos e solos e com  $V < 50\%$  são classificados como distróficos (GATIBONI, 2000, p.24). Observamos na análise, 68,09 % e 75,51% de V(%) nas amostras 01 e 02, respectivamente. Podemos dizer que a saturação por bases das duas amostras se encontra com um bom resultado, sem necessidade de calagem.

Por outro lado, a porcentagem de Saturação por Ácidos (M%) foi determinado utilizando a equação ( $M (\%) = 100 - V (\%)$ ). O valor de M (%) traz as informações sobre a probabilidade de ocorrência de toxidez de alumínio para as plantas (GATIBONI, 2000, p.24). Segundo os análise, observamos a cerca de 31,91% e 24,49% de M (%) nas amostras 01 e 02 dos solos, respectivamente. Sabemos que, para a fertilidade do solo, de modo geral, a saturação com alumínio não deve ser superior a 15%, pois em valores maiores aumenta muito a probabilidade de ocorrência de toxidez às plantas. Porém, este valor varia de 10 a 20%,

conforme a cultura utilizada. O valor  $m$  também é utilizado na classificação de solos, sendo atribuído o termo álico quando o solo possuir  $m > 50\%$ . O cálculo do valor  $m$  (%) é feito da pela equação  $m (\%) = (100 \times Al)/t$ . Sendo assim, observamos cerca de 1,43% para amostra 01 e 2,63% para amostra 02, respectivamente. Segundo os valores padrões, podemos perceber que a percentagem de saturação por alumínio está muito baixa. Mas para o solo isso é bom, pois quanto menos alumínio melhor será sua fertilidade.

A análise Granulométrica foi realizada para investigar a relação entre as partículas unitárias (areia, silte e argila), presentes na fração terra fina do solo (partículas menores que 2,0 mm). Trata-se, portanto, de uma análise física de separação das partículas por tamanho. (PEDROSO NETO E OLIVEIRA COSTA, 2012, P.10)

Tabela 3 - Resultados de análise granulométrico das amostras

Amostra	Areia	Argila	Silte
01	70	16	14
02	41	24	14

(Fonte: Autora, 2021)

A necessidade de Calagem foi determinada pela a equação:  $NC (t/ha) = (V_2 - V_1) \times T/100$ . Segundo os resultados obtidos, foram determinados 0,12 e 0,22 t/ha de necessidade de calagem para as amostras 01 e 02, respectivamente. Levando em consideração que, a área da amostra 01 só tem meio há, divide-se o resultado por dois.

Tabela 4 - Classificação do solo conforme teor de argila.

Teor de Argila %	Classe
0 – 16,0	Arenoso
16,1 – 32,0	Franco (Médio)
32,1 – 60,0	Argiloso
>60,0	Muito argiloso

(Fonte: MENEGHETTI, 2018).

Onde a quantidade de calcário necessário será:  $0,12/2 = 0,06$ , e a área da amostra 02 tem 4 ha, multiplica-se o resultado por quatro. Onde a quantidade de calcário necessário será 0,88.

O cálculo da necessidade de calagem foi de caráter demonstrativo, pois nenhum dos solos analisados tem necessidade de correção do solo. De modo geral o solo apresenta resultados ótimos para cultivo. Tendo um pH bom, baixo percentual de alumínio e saturação por bases sem necessidade de elevação. Podemos perceber que isso se deve a vários fatores e propriedades que a área estudada apresenta como: pouco tempo de exploração do solo, não uso de agrotóxicos e a prática de plantio direto.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em geral é recomendado elevar o valor da percentagem de saturação por bases (V%) a 60% ou 70% com uso de calcário. Conforme os resultados, podemos perceber que as duas amostras não têm necessidade dessa elevação, tendo seus resultados 68,09% e 75,51%.

Segundo Miyazawa, et al. (1993), a prática do plantio direto faz com que os resíduos vegetais fixem por mais tempo a matéria orgânica no solo, proporcionando sua neutralização. Então podemos concluir que devido à prática do plantio direto dos agricultores familiares da região rural do município de Pedreiras - MA, o solo tem se beneficiado, evitando assim sua acidificação.

## REFERÊNCIAS

ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas, Boletim Técnico, 6, Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA, São Paulo – SP, (2005) 24 p.

BEATRIZ M. S.; MARCELO R. L.; CARLA E. G.; ELIANE R. F.; IOLANDA M. R.S.A.; CARNIERI L. S. P. Conhecendo o Solo, Curitiba: UFPR/Setor de Ciências Agrárias/ Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2002. 27 p. : il.

BORTOLUZZI, E. C.; RHEINHEIMER, D. S.; PETRY, C.; KAMINSKI, J. Contribuição de constituintes de solo à capacidade de troca de cátions obtida por diferentes métodos de extração. R. Bras. Ci. Solo, 33:507-515, 2009

BRAGA, G. N. M. Calcular a Necessidade de Calagem. Disponível em: <<https://agronomiacomgismonti.blogspot.com/2011/06/calcular-necessidade-de-calagem.html>> Acesso em: 11/08/2021 às 8:30.

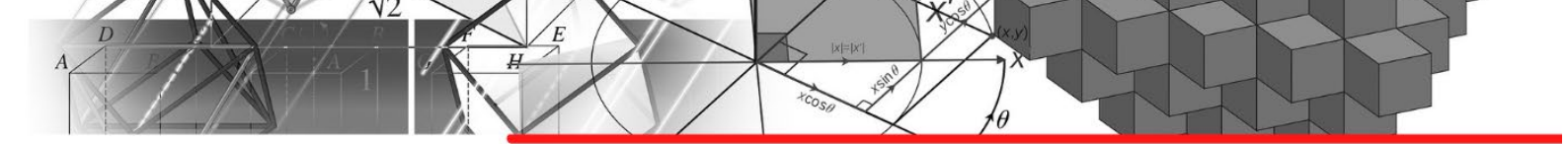
CAIRES, E.F; FONSECA, A.F; MENDES, J; CHUEIRI, W.A; MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. Revista Brasileira Ciências do Solo, v. 23, p.315-327, 1999.

GATIBONI, L. C. Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas. (2003). 247f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2003.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA – Análise de solo vai até produtor. Disponível em: > <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/14560603/analise-de-solos-vai-ate-o-produtor>< Acesso em: 11/08/2021 às 09:40.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R.P. Nutrição mineral, calagem e adubação da batateira. Botucatu/Itapetininga: FEPAF/ABBA, 2012. 121p.



FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P.; SOUZA, E.F.C.; JOB, A.L.G. *Nutrient uptake and removal by potato cultivars as affected by phosphate fertilization of soils with different levels of phosphorus availability*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.41, p.e0160288, 2017.

GAZZIERO, D. L. P. Manejo de plantas daninhas na cultura da soja. In: CARVALHO, J. A.; CORREIA, N. M. (Ed.). Manejo de plantas daninhas nas culturas da soja e do milho. Uberlândia: UFU, 1998. p. 8-34.

LOPES, A. S; SILVA M. C.; GUILHERME L. R. Acidez do solo e calagem, Boletim Técnico, 1. 3ª Ed., Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA, São Paulo – SP (1990) 22 p.

LOPES, C.F.; TAMANINI, C.R.; SERRAT, B. M.; LIMA, M.R. **Acidez do solo e calagem**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Projeto de Extensão Universitária Solo Planta, 2002.

MALAVOLTA, E. Corretivos cálcicos, magnesianos e calco-magnesianos. In: MANUAL DE QUÍMICA AGRÍCOLA: adubos e adubação. São Paulo: Editora -Agrônômica Ceres, 3ª Ed. (1981). 596. ISBN: 978-85-318-0018-8.

MENEGHETTI, A. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise química de plantas, solo e fertilizantes – Curitiba: EDUTFPR, 2018. 252 p. ISBN: 978-85-7014-209-2 (E-book) E-book disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/>.

MIYAZAWA, M, PAVAN, M.A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.17, p.411-416, 1993.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & CALEGARI, A. *Effects of addition crop residues on the leaching of Ca and Mg in oxisols*. In: *international symposium on plant-soil interactions at low pH, 4.*, BELO HORIZONTE, 1996. RESUMOS. BELO HORIZONTE, SBCS/EMBRAPA-CPAC, 1996. P.8.

NEPAR-SBCS – Núcleo Estadual Paraná–Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482p.

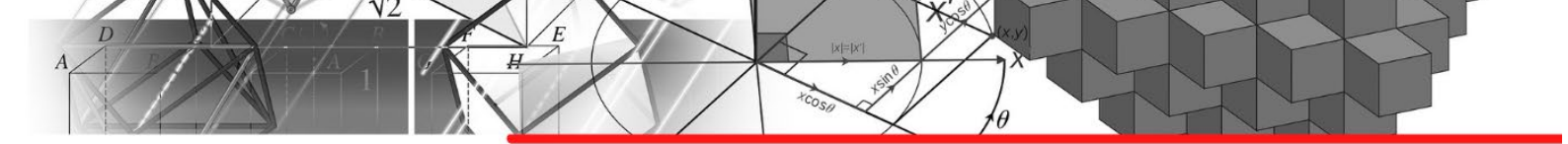
NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Indicadores da acidez do solo para recomendação de calagem no sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 32:237-247, (2008). <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100023>.

Nutrição de Safras. Tabela periódica de nutrição de safras. Disponível em: > <https://www.nutricaoodesafras.com.br/periodica/> < Acesso em: 11/08/2021 às 15:00.

QUAGGIO, J.A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônômico, 2000. 111p.

RONQUIM C. R. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Boletim de pesquisa e desenvolvimento - 35/Embrapa Territoria, 2ª Ed. ISSN 1806-3322 (2020).

Secretaria executiva, Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio/FIOCRUZ. Av. Brasil, 4365 - 21040-900, Rio de Janeiro/RJ (Clima e solo) Acesso em: <http://www.criareplantar.com.br/agricultura/> Acesso em: 10/08/2021 às 14:13.



PEDROSO NETO, JOÃO CHRISÓSTOMO; Oliveira Costa, Jeferson de. Cartilha análise do solo: Determinações, cálculos e interpretação. EPAMIG- DDP, 2012.

PRADO, A. Calagem e as Propriedades Físicas de Solos Tropicais: Revisão de Literatura. Rev. Biociência. Taubaté, v.9, n.3, p.7-16, jul-set 2003.

SOBRAL, L. F.; BARRETTO M. C. V.; SILVA, A. J.; dos ANJOS L. J. Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo. Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, (2015). ISSN 1678-1953 Dez., 2015.

Solo e Calagem. Disponível em: <http://www.yarabrasil.com.br/nutricao-plantas/culturas/milho/fatores-chave/soil-and-liming/> Acesso em: 18/11/2016 às 11:23.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONII, L. R. F.; CAIRES E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. Ciência Rural, Santa Maria, v.37, n.1, p.110-117, jan-fev, 2007. ISSN 0103-8478.



# CAPÍTULO 2

## MOOC E GAMIFICAÇÃO COMO ESTRATÉGIAS DE ENSINO DE SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO

**Jean Rodrigo da Silva**, Graduando em Ciência da Computação, Univali/SC  
**Christiane Heemann**, Doutora em Letras, UCPel, Professora na Ciência da Computação Univali/SC

**Anita Maria da Rocha Fernandes**, Doutora em Engenharia de Produção, UFSC, Professora na Ciência da Computação Univali/SC

**Daniela Souza Moreira da Silva**, Mestre em Computação Aplicada, Univali, Professora na Ciência da Computação Univali/SC

### RESUMO

O presente trabalho visa apresentar o desenvolvimento de um curso sobre Segurança da Informação na Internet com o uso da metodologia MOOC - Massive Open Online Course - direcionado a adolescentes. Como importantes estratégias digitais dentro das tecnologias educacionais, ambientes gamificados podem contribuir para a criação de contextos motivacionais com base em desafios e recompensas, oferecendo um espaço que cause impacto na maneira de aprender. Com isso, com a integração da gamificação, objetiva-se a construção de um curso que conscientize sobre a navegação segura na Internet, de maneira interessante e divertida através de componentes de pontuação, mecânicas de desafio e recompensa, dinâmicas de progressão e relacionamentos. O problema de pesquisa que guiou este estudo é: como ensinar Segurança da Informação a adolescentes por meio de um ambiente gamificado? O projeto é voltado para alunos do Ensino Médio e consiste em proporcionar engajamento aos interessados no tema do curso, além de abrir espaço para conhecimento de todos, com acesso gratuito e sem a necessidade de pré-seleção ou pré-requisitos para a inscrição. Foi utilizado o método dedutivo com recursos de pesquisa aplicada sob o ponto de vista de sua natureza; quanto à abordagem do problema, é uma pesquisa qualitativa embasada em pesquisa bibliográfica e pesquisa experimental de cunho exploratório. Como resultados parciais, o estudo apresenta a construção de um ambiente Web responsivo, que será validado através de análise qualitativa para verificar o desempenho e a aprendizagem dos alunos durante a experiência dentro do MOOC, buscando-se avaliar se os elementos de gamificação podem auxiliar e contribuir significativamente para o aprendizado dos adolescentes acerca de Segurança da Informação e assim analisar possíveis melhorias de acordo com o feedback dos participantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gamificação; MOOC; Segurança da Informação; Adolescentes.

### INTRODUÇÃO

A educação a distância (EaD) surgiu como uma ferramenta para eliminar as barreiras temporais e espaciais entre alunos e professores no sistema de ensino tradicional. A regulamentação das diversas modalidades de EaD no Brasil ocorreu com a publicação da Lei das Diretrizes e Bases da Educação (Lei 9.394/96), que especifica os critérios que devem ser





utilizados na elaboração, acompanhamento e supervisão dos diversos cursos em EaD (SALVUCCI; LISBOA; MENDES, 2012). Esta modalidade de ensino, segundo os autores, promove a cooperação entre os indivíduos, criando uma "cultura solidária", cujo aspecto mais notável é o aprendizado por meio da rede.

Além da estrutura tradicional da EaD, também houve o surgimento de um novo conceito na educação à distância: os recursos educacionais abertos (REA) que podem incluir apresentações, softwares, livros, apostilas, conteúdo de site, além da possibilidade de adaptar algum conteúdo já existente.

Com a evolução da tecnologia, foram surgindo outros conceitos para designar metodologias de ensino. Em 2008 George Siemens, ao ministrar o curso *Connectivism and Connective Knowledge*, no Canadá, para 25 alunos na modalidade presencial, também o fez para outros 2.300 alunos online, dando origem ao termo MOOC - *Massive Open Online Course* - ou curso online aberto e massivo. Trata-se de uma modalidade realizada por meio da Internet baseada na teoria de aprendizagem conectivista. O modelo educacional de um MOOC visa promover o aprendizado para muitas pessoas que compartilham interesses em comum, removendo barreiras geográficas e proporcionando ao aluno maior flexibilidade para gerenciar seus estudos (MARTÍN-MONJE; BÁRCENA, 2015); alguns exemplos de plataformas que disponibilizam esses cursos são: Coursera, edX, Udacity e Udemy. Ainda, os MOOCs são apresentados como uma proposta para democratização do ensino (CARMO et al., 2019).

O MOOC diferencia-se da modalidade EaD tradicional pelo fato de ser aberto e livre de pré-requisitos para o ingresso e, sobretudo, em função da quantidade de alunos que participam (CREED-DIKEOGU; CLARK, 2013); e diferente dos REA, pois os conteúdos normalmente são desenvolvidos em formato fechado, não permitindo alterações.

Outro conceito que também vem apresentando grande expansão para os métodos de ensino é o de gamificação, que compreende a aplicação de elementos de jogos em atividades ou áreas de conhecimento não jogáveis. Assim, mesmo que o termo tenha sido utilizado em 2010 pela primeira vez, a gamificação já vem sendo aplicada há muito tempo (FADEL et al., 2014).

Tradicionalmente na educação, os alunos são desafiados por exercícios com recompensas (estrelas, pontos, notas), bem como os trabalhos escolares vão se tornando mais difíceis a cada semestre (níveis de dificuldade). Embora tais exemplos sejam simples, ocasionalmente as pessoas se deparam com atividades gamificadas (FADEL et al., 2014). A



gamificação captura os elementos e mecanismos dos jogos que proporcionam engajamento e motivação aos usuários. Muitos desses elementos também fazem parte da Teoria do Flow (DIANA et al., 2014) que explica que atividades envolventes são as que proporcionam metas com feedback, desafios, sentimento de controle, foco, e perda da noção do tempo.

De acordo com Deslandes e Coutinho (2020), de uma hora para a outra a transmissão de dados através da Internet tornou-se o único meio disponível para a continuidade das interações sociais e de trabalho devido à pandemia decorrente da Covid-19, na tentativa de simular e restabelecer uma nova forma de normalidade. O presente estudo considera que o isolamento social adotado para o enfrentamento da pandemia intensificou algumas condições ligadas à socialização digital (hiperexposição, geração de notícias falsas, aproximação de público-privado-íntimo), criando condições favoráveis para o estímulo da violência digital. Assim, o problema de pesquisa deste estudo é “como ensinar Segurança da Informação a adolescentes por meio de um ambiente gamificado?”, considerando que a computação e a lógica de games, sendo fatores familiares para essa geração conectada, podem contribuir para a motivação nos estudos.

Diante disso, este artigo tem por objetivo apresentar o desenvolvimento de um curso sobre Segurança da Informação na Internet com o uso da metodologia MOOC direcionado a adolescentes do Ensino Médio, com a integração da gamificação, utilizando componentes de pontuação, mecânicas de desafio e recompensa, dinâmicas de progressão e relacionamentos.

Pode-se ressaltar que este curso gamificado pode transcender o ambiente elaborado, visto que sua abrangência é direcionada ao desenvolvimento pessoal de alunos sobre assuntos relacionados à segurança e privacidade digital; entretanto, o curso pode ainda ser um incentivo ao aluno, fazendo-o buscar outras fontes de ensino e aprofundar o conhecimento nesta área de estudo ou em outras similares.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta o referencial teórico que auxiliou no entendimento do projeto.

### INTERNET NA ADOLESCÊNCIA E AS NOVAS PRÁTICAS DE ENSINO

Para Fardo (2013), os indivíduos da sociedade atual estão inseridos no contexto das mídias e das tecnologias digitais e se mostram desinteressados pelos métodos passivos de ensino e aprendizagem utilizados na maioria das escolas. Cotta Orlandi et al. (2018) enfatizam que as abordagens da educação nos dias de hoje ainda são antigas e ultrapassadas, e que nada se relacionam com a evolução experimentada até o presente momento. As novas gerações já



nascem e crescem em um mundo digital e informatizado, convivendo com novas tecnologias, vivenciando experiências e aprendizado através do computador, da Internet, do vídeo game e do celular (FALCÃO; LEITE; TENÓRIO, 2014).

Conforme Fontes (2015), os avanços tecnológicos que ocorrem no meio social têm provocado diversas mudanças nas atividades humanas. Principalmente em tempos de pandemia, dentre os problemas causados pela Covid-19, o sistema educacional merece destaque, uma vez que, o direito à educação tem sido abruptamente privado dos estudantes em seus mais diversos níveis de ensino (OLIVEIRA; SOUZA, 2020).

## SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO

A Segurança da Informação é necessária para fazer a preservação de todos os tipos de dados que circulam nas redes sociais e na Internet mantendo a sua integridade. Segundo Barbosa et al. (2012), como esse tipo de informação é muito visado por grandes empresas, é fundamental fazer a sua proteção assim como delimitar quem tem acesso a ela.

Segundo Hintzbergen et al. (2018), a base da Segurança da Informação é composta pelos princípios CIA: *confidentiality* (confidencialidade), *integrity* (integridade), e *availability* (disponibilidade). Com isso, qualquer ataque independente da origem fere um, dois ou até os três princípios. A confidencialidade é a capacidade de um sistema de impedir usuários sem autorização, de “ver” determinada informação que foi delegada somente a usuários autorizados; a integridade é o atributo relacionado à segurança que garante que a informação seja alterada somente de forma autorizada, sendo mantida assim, correta e completa; já a disponibilidade indica a quantidade de vezes que o sistema cumpriu uma tarefa solicitada sem falhas internas, para um número de vezes em que foi solicitado a fazer a tarefa (BARRETO et al., 2018).

Principalmente nas redes sociais, dentre todas as informações que podem ser encontradas, os dados pessoais são o principal alvo de ataques. Dados que podem parecer sem importância, como datas de nascimento, nomes completos, fotografias e nomes de escolas, nas mãos dos invasores podem se tornar uma ferramenta contra seus usuários (SANTOS, 2016); assim, algumas medidas preventivas devem ser tomadas.

## GAMIFICAÇÃO

Gamificação em português é a apropriação e adaptação da palavra inglesa *gamification*. O termo surgiu inicialmente em 2002 para descrever a aplicação de interfaces cuja aparência era similar a jogos para tornar transações eletrônicas mais rápidas e confortáveis para os clientes (PELLING, 2011).



Para Kapp (2012), gamificação é usar pensamento de jogo, estética e mecanismos baseados em jogos, para engajar pessoas, motivar ações, promover aprendizado e resolver problemas. Werbach e Hunter (2012) descrevem a gamificação como o uso de elementos de jogos e técnicas de design de jogos em contextos não relacionados a jogos. O objetivo da gamificação é motivar as pessoas para que elas alterem seus comportamentos, desenvolvam habilidades ou estimulem a inovação (BURKE, 2015); assim, a gamificação se concentra em possibilitar as pessoas a atingirem seus objetivos.

A gamificação encontra na educação formal uma área bastante fértil para a sua aplicação, pois lá estão as pessoas que carregam consigo muitas aprendizagens advindas das interações com os *games* (RIBEIRO, 2018). Ribeiro (2018) destaca a competição como uma mecânica de jogo que pode ser utilizada na gamificação; ela é capaz de motivar as pessoas a partir da vontade de superação ao próximo, ou a si mesmo em alguns aspectos.

Tolomei (2017) afirma que é fundamental o uso de games ou de atividades gamificadas para motivar alunos a se engajarem no processo de ensino e aprendizagem, pois a gamificação possui grandes potencialidades para construir atividades de forma diferente e divertida. O jogo aproxima o processo de aprendizagem com a própria realidade do aluno, estimulando o cumprimento de tarefas para o progresso das atividades escolares. O papel do professor é ter uma atuação semelhante à de um designer de jogos, buscando maneiras para que o aluno sempre queira jogar mais, ficando engajado e a fim de descobrir novas maneiras de interagir com o conhecimento e o mundo ao seu redor (RIBEIRO, 2018).

## **METODOLOGIA**

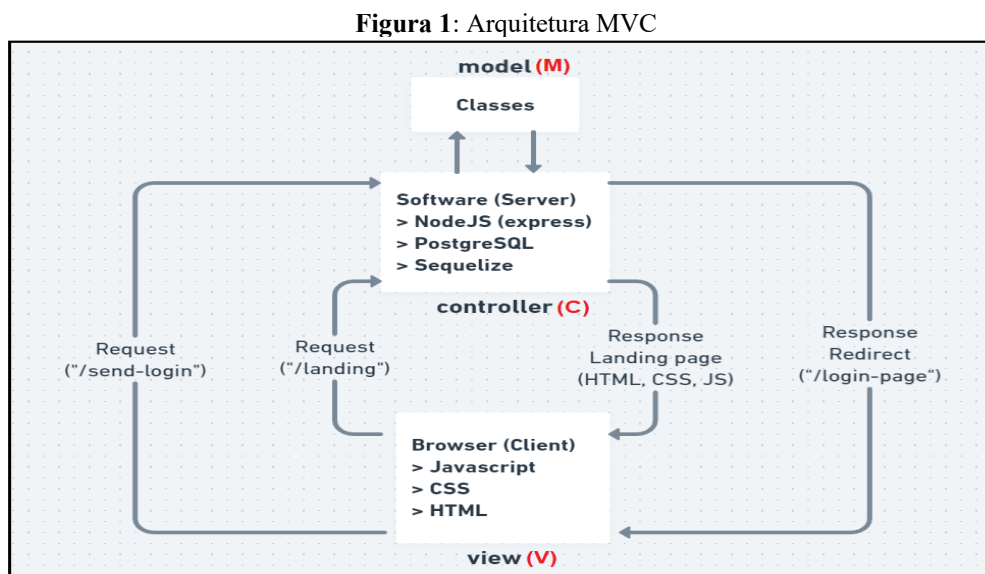
Esta é uma pesquisa qualitativa experimental de cunho exploratório, na qual o ambiente natural estudado é utilizado para a coleta de dados. Inicialmente foi feita uma pesquisa bibliográfica com a investigação de estratégias e de ambientes virtuais de ensino e aprendizagem. Foram pesquisados também técnicas, elementos e mecânicas de jogos que ajudem no engajamento de pessoas. Para a coleta de dados, serão utilizados instrumentos tais como questionários, quizzes e fórum.

## **TeenIS: MOOC GAMIFICADO SOBRE SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO**

Esta seção apresenta o projeto do MOOC gamificado, intitulado TeenIS, com a finalidade de destacar o diferencial deste trabalho em termos de vantagens, desvantagens e limitações.

## VISÃO GERAL DO TeenIS

O projeto em desenvolvimento está dividido entre *front-end* e *back-end*, e para isso, ficou definida a utilização da arquitetura MVC (Model View-Controller) para focar no reuso de código e a separação de conceitos em três camadas interconectadas, onde a apresentação dos dados e interação dos usuários (*front-end*) são separados dos métodos que interagem com o banco de dados (*back-end*). A Figura 1 apresenta os detalhes de como estão estruturados o sistema e as tecnologias utilizadas em cada camada da aplicação.

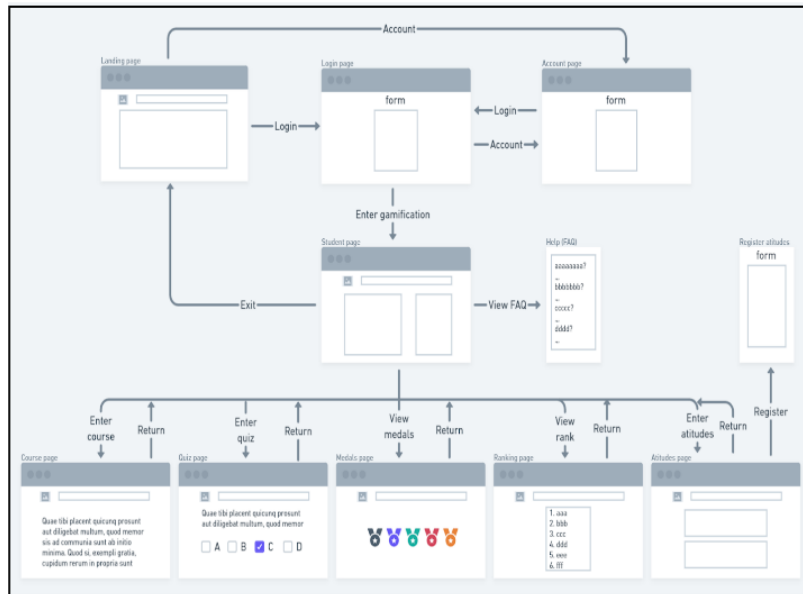


Fonte: Autores, 2020

Por se tratar de um sistema web, optou-se pelo uso da linguagem de programação *JavaScript*, considerada a linguagem padrão da web por ser a única compreendida pelos navegadores. Além disso, foi escolhido o *PostgreSQL* que é um sistema gerenciador de banco de dados relacional de grande importância para sistemas com grande número de dados e com foco em relacionamento entre entidades.

A navegação entre as telas do sistema é feita na web através do navegador; cada tela exibe as possibilidades de interação dos usuários, que são submetidos ao ambiente gamificado com cadastro inicial que permite a entrada ao sistema. A Figura 2 apresenta o fluxo completo permitido no ambiente após o acesso ao mesmo.

**Figura 2:** Fluxo de funcionamento do MOOC



Fonte: Autores, 2020

Com a conta criada e após efetuar o login no sistema, os usuários podem navegar entre: curso, *quiz*, medalhas, *ranking* e atitudes. Estas funcionalidades foram consideradas com base em elementos e mecânicas de jogos para promover boa experiência durante todo o aprendizado dentro do MOOC.

O curso dispõe de cinco módulos para aprendizagem acerca de Segurança da Informação: além do módulo introdutório que apresentadas informações importantes sobre o tema estudado e o funcionamento do curso, há os módulos sobre *Cyberbullying*, *Cyberstalking*, *Sexting* e Uso excessivo da Internet. Além disso, os *quizzes* abordam questões sobre os temas tratados nos módulos e as atitudes podem ser registradas como *posts* para servirem de informação e promoverem interação entre os alunos. Durante o período de uso do MOOC, os alunos adquirem medalhas por algum feito dentro do ambiente e ainda acumulam pontos que influenciam no seu posicionamento dentro do *ranking*.

## ANÁLISE DE REQUISITOS

Esta etapa consiste na compreensão e identificação das necessidades no MOOC. Para definir o que o software vai fazer, foram considerados os seguintes elementos: os requisitos funcionais (RF), os requisitos não funcionais (RNF) e as regras de negócio (RN).

Os RF tratam das funcionalidades que o sistema deve ter. Em engenharia de software, os RF definem uma função de um sistema de software ou seu componente, representando o que o software faz em termos de tarefas e serviços. Foram definidos os seguintes RF:

- RF1. O sistema deve permitir criar conta de aluno (RN1).
- RF2. O sistema deve permitir entrar no módulo de aluno após login (RN2, RN3).
- RF3. O aluno poderá registrar atitudes (RN7).
- RF4. O aluno poderá responder perguntas do *quiz*.
- RF5. O aluno poderá fazer o curso de Segurança da Informação (RN6).
- RF6. O sistema deve permitir que o aluno adquira pontos e medalhas (RN8, RN5).
- RF7. O sistema deve permitir que o aluno visualize o seu desempenho e a sua colocação no *ranking* (RN4).
- RF8. O aluno poderá registrar comentário sobre sua experiência.
- RF9. O sistema deve permitir sair do módulo de aluno após o logout.

Os RNF tratam de recursos que não são funcionalidades, mas sim características do sistema, como restrições, segurança, confiabilidade, velocidade, validações e recursos necessários. Foram definidos os seguintes RNF:

- RNF1. O sistema deve ter alta disponibilidade.
- RNF2. O sistema deve suportar as versões dos navegadores (Chrome v.87, Firefox v.83, Edge v.87).
- RNF3. O sistema deve ser desenvolvido com *JavaScript*, HTML e CSS para o *front-end*.
- RNF4. O sistema deve ser desenvolvido com nodeJS para o *back-end*.
- RNF5. O sistema deve ser desenvolvido com postgresSQL para persistência de dados.
- RNF6. O sistema deve ser desenvolvido a partir da arquitetura MVC.

Os requisitos de usabilidade atuam diretamente na usabilidade determinando necessidades qualitativas em cada cenário analisado. Foram definidos os seguintes requisitos de usabilidade:

- RNF7. O sistema deve ter design responsivo.
- RNF8. O sistema deve ser acessado sem treinamento ou tutorial.

As RN podem ser consideradas uma categoria de requisitos não funcionais, pois tratam de políticas e normas que o sistema deve obedecer. Foram definidas as seguintes RN:

- RN1. O cadastro de aluno deve conter e-mail, nome e senha.
- RN2. O login no sistema deve ser realizado com e-mail e senha.
- RN3. O sistema terá um módulo acessado com o perfil do aluno.
- RN4. O aluno poderá visualizar seu desempenho e colocação no *ranking*.
- RN5. O aluno poderá consultar suas medalhas.
- RN6. O curso deve ser dividido em módulos com desafio para avançar.
- RN7. As atitudes registradas devem ser visualizadas por todos os alunos cadastrados.
- RN8. O sistema deve atribuir pontos e medalhas em locais estratégicos.

O processo de levantamento de requisitos é de extrema importância no desenvolvimento do sistema, pois, além de ajudar na concepção, é o alicerce sob o qual toda a solução é construída. Cabe fazer um bom e cuidadoso trabalho, para que todo o projeto seja desenvolvido com tranquilidade e confiança.

### MODELAGEM DO MOOC TeenIS

Para modelagem do sistema, optou-se por considerar o uso da rede de Petri como método formal para concepção do sistema e o uso do diagrama de classes (UML - do inglês *Unified Modelling Language*), para representar as classes necessárias no desenvolvimento do *back-end*.

Rede de Petri é uma técnica de modelagem que permite a representação de sistemas, utilizando como alicerce uma forte base matemática, possuindo a particularidade de permitir modelar sistemas paralelos, concorrentes, assíncronos e não-determinísticos (MACIEL; LINS; CUNHA, 1996).

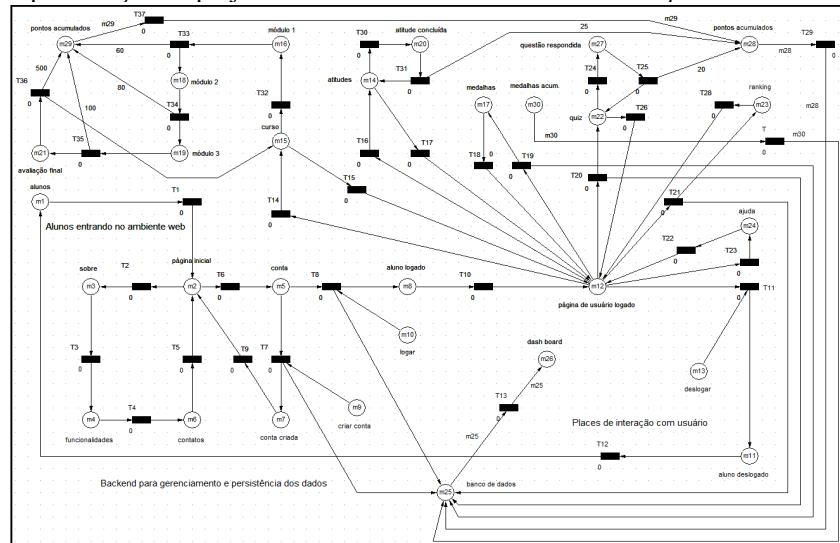
A Figura 3 apresenta o funcionamento do MOOC TeensIS com os círculos (*places*), para demonstrar os possíveis lugares que os alunos podem alcançar; os retângulos (*transitions*) para demonstrar as transições dos alunos entre os lugares; os arcos demonstram a direção das transições e os *tokens* são marcações inseridas dentro dos círculos para demonstrar os alunos navegando no sistema durante a simulação deste modelo.

Apesar de a rede de Petri possuir algumas limitações na representação para determinados sistemas, para o presente projeto foi considerada viável, principalmente para analisar os processos que serão realizados dentro do MOOC TeensIS.





Figura 3: Representação do projeto TeenIS através da rede de Petri com *places* e *transitions*



Fonte: Autores, 2020

Apesar de a rede de Petri possuir algumas limitações na representação para determinados sistemas, para o presente projeto foi considerada viável, principalmente para analisar os processos que serão realizados dentro do MOOC TeensIS.

## DESIGN DO EXPERIMENTO E VALIDAÇÃO

O experimento e validação deste projeto será realizado em uma escola preferencialmente pública, disponibilizando o MOOC TeensIS a alunos do Ensino Médio com acesso pela web via navegador. Para o processo de validação, será aplicado um questionário com perguntas acerca da experiência dos usuários dentro do ambiente, bem como serão utilizados os comentários feitos durante o uso do sistema.

Para a amostra do projeto, serão selecionados adolescentes que possuem acesso à Internet por meio de computadores ou *smartphones*. Com o intuito de analisar os resultados dos testes de maneira eficiente, o link de acesso será disponibilizado para o maior número possível de participantes possibilitando a coleta de dados dos comentários e das respostas decorrentes do questionário.

É pertinente informar que, uma vez que este projeto trabalha diretamente com seres humanos, o mesmo será encaminhado para o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da instituição de ensino superior responsável para que os interesses dos participantes sejam defendidos em sua integridade e dignidade.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por se tratar de uma proposta relacionada às metodologias de ensino em ambiente virtual, o presente trabalho objetivou apresentar o desenvolvimento de um curso sobre Segurança da Informação na Internet com o uso da metodologia MOOC - *Massive Open Online Course* - direcionado a adolescentes do Ensino Médio com a integração da gamificação, utilizando estratégias motivacionais e recursos tecnológicos que são familiares aos adolescentes. Uma reformulação no ensino, incluindo tecnologias e novos métodos faz-se necessária, tornando os alunos mais independentes com relação ao processo de ensino e aprendizagem, ampliando a sua autonomia, a interação, as habilidades e tomadas de decisão.

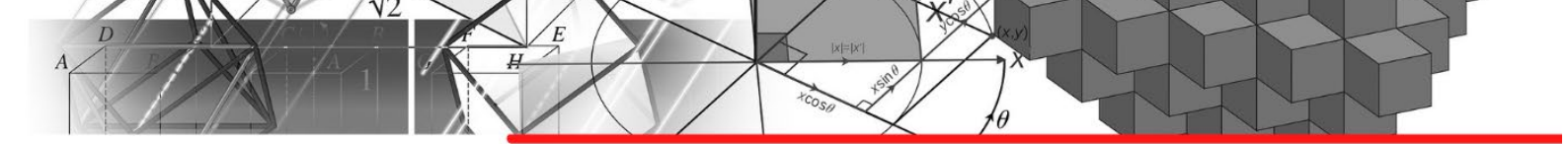
O interesse por esta temática deveu-se ao fato de os adolescentes estarem expostos à Internet, ainda mais com a pandemia, sem os conhecimentos necessários sobre cuidados e privacidade de dados. Com esta proposta do projeto, evitam-se danos psicológicos aos adolescentes provenientes de ataques e ameaças virtuais.

As etapas definidas e o escopo do projeto estão sendo seguidas até o presente momento para alcançar o objetivo proposto. Como resultados almejados, pretende-se avaliar como os elementos de gamificação podem auxiliar e contribuir significativamente para a aprendizagem dos adolescentes acerca de Segurança da Informação e assim analisar possíveis melhorias de acordo com o feedback dos participantes.

As próximas etapas a serem efetuadas são: (a) implementar o MOOC para plataforma web com interface responsiva; (b) efetuar *deploy* do sistema em um provedor de serviços *cloud*; (c) disponibilizar o link de acesso ao MOOC para validação dos resultados; (d) efetuar análise dos dados de acordo com o questionário que será submetido aos participantes e comentários feitos a fim de realizar a entrega do projeto finalizado.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, J. G. P. et al. Obtenção de Conhecimento para Inovação: benefícios e malefícios de processos de gestão da segurança da informação. *Sociedade, Contabilidade e Gestão*, v.7, n.1, p. 107 – 124, 2012. [https://doi.org/10.21446/scg\\_ufrj.v7i1.13262](https://doi.org/10.21446/scg_ufrj.v7i1.13262)
- BARRETO, J. S. et al. *Fundamentos de segurança da informação*. Porto Alegre: SAGAH, 2018.
- BURKE, B. (2015) *Gamificar: como a gamificação motiva as pessoas a fazerem coisas extraordinárias*. São Paulo: DVS Editora, 2015.



CARMO, E. A. A. et al. O que se diz sobre os MOOCs? A produção científica brasileira sobre os Massive Open On-line Courses nos últimos 10 anos. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, v.33, p. 1-15, 2019. <http://dx.doi.org/10.17013/risti.33.1-15>

COTTA ORLANDI, T. R. et al. Gamificação: uma nova abordagem multimodal para a educação. *Biblios*, n. 70, p. 17-30, 2018. <http://dx.doi.org/10.5195/biblios.2018.447>.

CREED-DIKEOGU, G.; CLARK, C. Are you MOOC-ing yet? A review for academic libraries. *Kansas Library Association College and University Libraries Section Proceedings*, Manhattan, KS, v. 3, n. 1, p. 9-13, 2013. Disponível em: <<https://newprairiepress.org/culsproceedings/vol3/iss1/5/>>. Acesso em: 23 out. 2020.

DESLANDES, S. F.; COUTINHO, T. O uso intensivo da internet por crianças e adolescentes no contexto da COVID-19 e os riscos para violências autoinflingidas. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 25, n. 1, p. 2479-2486, 2020. <https://doi.org/10.1590/1413-81232020256.1.11472020>

DIANA, J. B. et al. Gamification e Teoria do Flow. In: FADEL, L. M. et al. (Eds.). *Gamificação na Educação*. São Paulo: Pimenta Cultural, 2014. p. 38-73.

FADEL, L. et al. *Gamificação na Educação*. São Paulo: Pimenta Cultural, 2014.

FALCÃO, A.; LEITE, M. D.; TENÓRIO, M. M. Ferramenta de apoio ao ensino presencial utilizando gamificação e design de jogos”. *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, v. 25, p. 526 – 533, 2014. <http://dx.doi.org/10.5753/cbie.sbie.2014.526>

MACIEL, P.R.M.; LINS, R.D.; CUNHA, P.R.F. Introdução às Redes de Petri e Aplicações. *Escola de Computação*, Campinas, 1996.

MARTÍN-MONJE, E.; BÁRCENA, E. *Language MOOCs: providing learning, transcending boundaries*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2015.

OLIVEIRA, H. V.; SOUZA, F. S. Do conteúdo programático ao sistema de avaliação: reflexões educacionais em tempos de pandemia (COVID-19). *Boletim de Conjuntura (BOCA)*, v. 2, n. 5, p. 15-24, 2020. Disponível em: <https://revista.ufr.br/boca/article/view/oliveirasouza> . Acesso em: 20 jan. 2021.

SALVUCCI, M.; LISBOA, M. J. A.; MENDES, N. C. Educação a distância no Brasil: fundamentos legais e implementação. *Revista Brasileira de Aprendizagem Aberta e a Distância*, São Paulo, v. 11, n. 2012, p. 21-33, 2012. Anual. Disponível em: <<http://www.abed.org.br/site/pt/>> . Acesso em: 21 out. 2020.



# CAPÍTULO 3

## PRODUÇÃO DE TECNOLOGIAS RELACIONADAS AOS REATORES NUCLEARES: UM MAPEAMENTO TECNOLÓGICO

**Cleide Mara Barbosa da Cruz**, Mestra e Doutoranda em Ciência da Propriedade Intelectual, UFS

**Anderson Rosa da Silva**, Mestre e Doutorando em Ciência da Propriedade Intelectual, UFS

**Nadja Rosele Alves Batista**, Mestra em Ciência da Propriedade Intelectual, UFS

**Mário Jorge Campos dos Santos**, Doutorado em Recursos Florestais em Conservação de Ecossistemas Florestais (Esalq/USP), Professor da UFS

**Jonas Pedro Fabris**, Doutor em Ciência da Propriedade Intelectual, UFS

### RESUMO

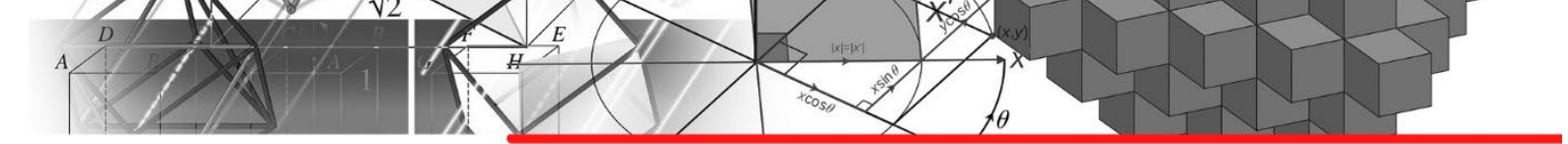
Uma das fontes de energia utilizada no Brasil é gerada por meio de usinas nucleares, porém, o lixo radioativo e a radiação emitida por essas usinas causam danos aos seres humanos e ao meio ambiente. Nesse sentido, os reatores nucleares são dispositivos usados em usinas para controlar a reação de fissão nuclear. Atualmente, existem quatrocentos e trinta e oito reatores nucleares no mundo em operação, sendo (104) cento e quatro deles, nos Estados Unidos. No Brasil, existem (3) três reatores nucleares na Usina de Angra dos Reis, localizada no Estado do Rio de Janeiro. A metodologia deste estudo consiste em estudo exploratório e descritivo, de natureza quantitativa. Nesse viés, foram encontrados (351) trezentos e cinquenta e um depósitos de patentes ligados aos reatores, através da base de dados do Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI. Os resultados da pesquisa mostraram que o principal país depositante de tecnologias voltadas aos reatores nucleares foi o Brasil, apesar do país possuir um quantitativo pequeno de reatores. Quanto aos principais inventores, destacam-se as empresas, abrangendo 65%.

**PALAVRAS-CHAVE:** reatores nucleares; energia; mapeamento tecnológico.

### INTRODUÇÃO

A energia nuclear é uma das maneiras que o ser humano encontrou para obtenção de energia elétrica em grande proporção. Diante do advento, por meio do aparecimento das primeiras centrais de potência, foi necessário levar em consideração aspectos antropométricos, cuja ergonomia é de natureza clássica para os projetos de sala de controle (REZENDE et al., 2009; SANTOS, 2003). O controle dos reatores é um dos destaques entre as questões mais importantes das usinas nucleares (ELSISI, ABDELFATTAH, 2020).

Alguns fatores podem ser relacionados ao aumento da utilização da energia nuclear para a geração de energia, dentre os quais estão: o esgotamento dos recursos hídricos, as dificuldades



de liberações de licenças ambientais para a utilização das matérias primas excedentes, além do aumento da demanda de energia. A utilização da energia nuclear na produção de energia elétrica tornou-se essencial, devido à contribuição para o avanço econômico do país e melhoria da qualidade de vida da população (REZENDE et al., 2009).

Os reatores nucleares podem colaborar, significativamente, para o desenvolvimento energético mundial, desde que se busque a resolução de alguns problemas derivados desta fonte de energia, como: os altos custos dos investimentos e segurança de operações. A energia das centrais dos reatores é considerada cara e insegura, pois o lixo proveniente dos reatores oferece risco por milhares de anos, bem como são potenciais alvos de terroristas. O combustível utilizado também pode ser desviado e utilizado na fabricação de armas nucleares (VEIGA, 2011).

A segurança de uma central nuclear é sujeitada, entre outros fatores, ao monitoramento contínuo de algumas variáveis, consideradas críticas, como por exemplo, a temperatura do fluido que resfria o núcleo do reator, a pressão e o nível de água no pressurizador e no gerador de vapor, o fluxo de nêutrons, dentre outros (LOPES, 1995).

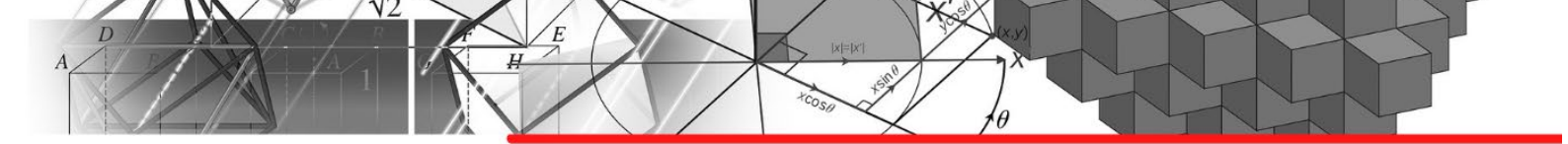
Para serem implantadas iniciativas desse porte, é necessário que se tenha o apoio científico e tecnológico, bem como pessoas capacitadas e com formação relacionada ao setor nuclear. Essa proposta auxilia nas recomendações da Agência Internacional de Energia Atômica -AIEA, que incentiva aos seus colaboradores, a apresentarem planos, cujas estratégias são elaboradas a partir da utilização de seus reatores para pesquisas (MESQUITA et al., 2010).

Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo mapear os depósitos de patentes relacionados aos reatores nucleares no Instituto Nacional da Propriedade Industrial, visando identificar a evolução anual e o quantitativo de tecnologias que estão sendo desenvolvidas sobre reatores nucleares no Brasil.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### REATORES NUCLEARES

A maioria dos reatores nucleares que estão em funcionamento, atualmente, foram construídos entre os anos de 1965 e 1990, quando, aproximadamente, trinta reatores iniciavam as operações por ano. O ano 1975 foi o que mais apresentou avanços no início de construções de reatores. Boa parte dos reatores iniciados nesse ano foram completados após dez anos de trabalho. Uma das principais características da geração de energia por reatores nucleares é o



alto rendimento energético, com a utilização de uma pequena quantidade de combustível durante as operações (GOLDEMBERG, 2011).

O princípio básico usado nos reatores nucleares é o da fissão do núcleo de determinados isótopos do Urânio e Plutônio, por meio dos nêutrons moderados, que geram em cada uma fissão, uma quantidade significativa de energia (PERROTTA, 1999).

Os reatores nucleares levam anos para serem construídos e entrarem em operação. Além disso, exigem altas aplicações financeiras, e qualquer retardo na obtenção das licenças ambientais ou dificuldades na montagem, implicam em constantes elevações nos custos (VEIGA, 2011).

Os reatores aderem à obtenção de radioisótopos, que podem ser aplicados em diversas atividades. Para que ocorra esse processo é necessário que exista a irradiação de nucleotídeos nos campos neutrônicos. A maximização de reações nucleares necessita que exista uma magnitude no fluxo de nêutrons térmicos, pois desta forma é possível manter as condições de operação mais seguras (MURA, 2011).

## COMPONENTES E MATERIAIS PRINCIPAIS DE REATORES NUCLEARES

Os reatores nucleares são distinguidos como térmicos ou rápidos, estes são diferenciados por conta da necessidade de o reator possuir (térmico) ou não (rápido) moderador nuclear (PLANAS, 2018). As primeiras iniciativas de reatores nucleares de potência que foram comercialmente desenvolvidos eram térmicos, que utilizavam água como refletor, pois as propriedades termodinâmicas da água propiciavam o custo baixo, estimulando, dessa forma, o seu uso (SILVA, 2008).

Os reatores nucleares são formados pelos componentes: combustível nuclear (massa crítica), elementos de controle, moderador nuclear, refrigerante e os materiais estruturais (PLANAS, 2021).

O combustível nuclear fica armazenado nas varetas de combustível, dentro do núcleo, o qual é arrefecido por um fluente, normalmente água, do reator nuclear. Quando em quantidade suficiente, o combustível é capaz de manter uma reação nuclear contínua. O mesmo é disposto de maneira que a energia gerada por essa reação possa ser extraída de forma rápida (PLANAS, 2021).

As varas de controle, encontradas no reator nuclear, são responsáveis por controlar, através da absorção de nêutrons, as reações em cadeia, o que permite a mudança rápida na



potência do reator ou a parada das reações no surgimento de emergências. As varas de controle são ativadas através do aumento ou diminuição da reatividade do núcleo, o que modifica a influência do material absorvente de nêutrons contidos nas hastes de controle. Durante uma falha no sistema de controle de segurança ou no reator nuclear, ele introduz todas as hastes de controle no núcleo do reator, o que provoca uma parada rápida e segura (PLANAS, 2021).

As reações de fissão nuclear possuem uma cinética de alta energia, o que provoca um aumento da velocidade e uma diminuição da probabilidade de fissão com outros átomos. O moderador nuclear atua na redução da velocidade das reações, através de colisões elásticas dos nêutrons, com os elementos moderadores, geralmente água leve ou pesada e grafite, com o intuito de estimular novas reações em cadeia (PLANAS, 2021).

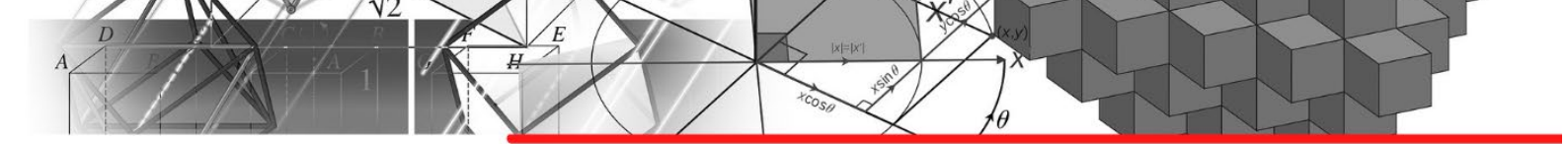
Os refrigerantes têm como objetivo absorver a energia térmica e transportá-la a fim de aproveitar a energia liberada pelas reações de fissão. Os compostos refrigerantes mais comuns são gases e líquidos, a exemplo de: dióxido de carbono, hélio e água. Entretanto, existem alguns compostos orgânicos e metais líquidos que também podem ser utilizados para essa função, desde que possuam as características de ser anticorrosivo, com alta capacidade térmica e não deve absorver nêutrons (PLANAS, 2021).

O refletor atua minimizando o vazamento de nêutrons e, conseqüentemente, aumentando a eficiência do reator nuclear. O material do refletor depende do tipo de reator nuclear. No caso de um reator térmico, o refletor pode ser o moderador nuclear. Em contrapartida, no caso de um reator rápido, o refletor precisa ter uma grande massa atômica, na qual os nêutrons possam ser refletidos no núcleo com a sua velocidade original (PLANAS, 2018).

A armadura age como um escudo que intercepta as emissões radioativas geradas durante a operação dos reatores nucleares, sendo necessária para proteger os trabalhadores da alta quantidade de radiação gerada pelos produtos da fissão. Dentre os principais materiais usados para construir a armadura estão: concretos, água e chumbo (PLANAS, 2021).

## RISCOS DA ENERGIA E REATORES NUCLEARES

O principal risco encontrado na utilização da energia e reatores nucleares é o risco de acidente radiológico e, conseqüentemente, a possibilidade de impacto ambiental por contaminação radioativa e exposição da população e trabalhadores aos gases provenientes dos vazamentos ou explosões radioativas. Os acidentes radiológicos provocam ainda alguns problemas de saúde, como: medo e estresse, gerados pelo acidente (ELETRO NUCLEAR,



2020). Dentre outros perigos, destacam-se o envelhecimento dos reatores nucleares, ameaças terroristas, armazenamento e descarte apropriado do combustível utilizado nos reatores, além dos perigos associados às mudanças climáticas (HIRSCH et al., 2007).

Quanto a diminuição dos impactos derivados da energia nuclear esta é baseada em alegações técnicas voltadas à diminuição dos riscos e de ocorrência de acidentes radiológicos, desta forma, evidenciam-se poucas mortes por vazamento de combustíveis ou acidentes nucleares, avanços e melhorias tecnológicas e gerenciamento de resíduos e aspectos de governança (GOLDEMBERG, 2011).

Os motivos da inércia nuclear são complexos, dentre eles destacam-se: a relutância da população causada pela preocupação com os riscos de acidentes nucleares, e as razões mais pragmáticas, por exemplo, o alto custo de operações desse tipo de fonte energética (GOLDEMBERG, 2011).

## REATORES NUCLEARES NO BRASIL

Segundo Gonçalves e Roitman (2019) enquanto o Brasil apresenta um crescimento na utilização de energias renováveis, como a energia eólica, registra uma estagnação na utilização da energia nuclear, causada principalmente pela desinformação e controvérsias sobre essa fonte de energia, que ainda permanece na sociedade.

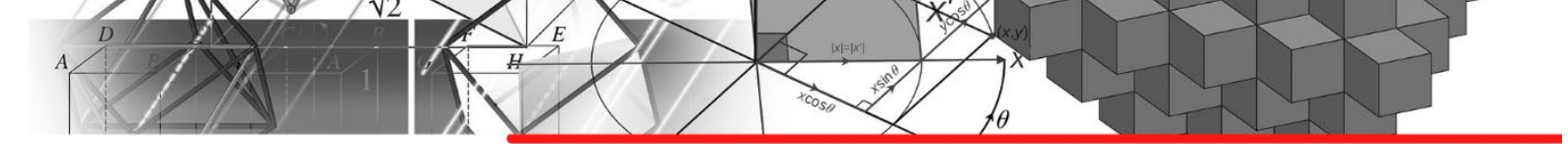
Segundo Veiga (2011) nas próximas décadas, a utilização de energias geradas por centrais nucleares será de extrema importância. Em contrapartida, países que não investem nesta modalidade energética atenderão às crescentes demandas, através da utilização de recursos fósseis, emissores de gases do efeito estufa, mesmo que possuam altos investimentos em energias de fontes renováveis.

O Brasil, mesmo sem a utilização da fonte de energia nuclear, possui uma ampla quantidade de fontes de energia que atingem a necessidade energética do país. A reavaliação do Plano Nacional de Energia demonstra a redução da utilização e contribuição da energia nuclear na geração de energia no país (GOLDEMBERG, 2011).

## PATENTE

A carta patente é uma das modalidades de proteção que constitui o direito de propriedade intelectual. A patente é um direito garantido pelo Estado, que garante ao seu titular, a exclusividade de exploração da tecnologia em troca da divulgação das informações do novo produto ou processo para a sociedade, após o prazo de 18 meses de sigilo (BARBOSA, 2010).





A proteção por patente divide-se em: patente de invenção (PI), a qual prevê proteção de 20 anos; e modelo de utilidade (MU), a qual possui 15 anos de proteção. As patentes de invenção abrangem novos produtos e processos que preencham os requisitos de novidade, atividade inventiva e utilidade industrial. Em contrapartida, o MU é uma patente fornecida a produtos que passam por modificações que geram alguma melhoria funcional ao produto modificado. O MU deve preencher os requisitos de novidade, ato inventivo e aplicação industrial (BARBOSA, 2010).

## METODOLOGIA

A metodologia deste estudo consiste em um estudo exploratório e descritivo, de natureza quantitativa. Nesta etapa foram pesquisados todos os depósitos de patentes relacionados a reatores nucleares.

A busca para os depósitos de patentes relacionados a reatores nucleares foi realizada na base de dados do Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI, estabelecendo algumas estratégias de busca, a saber: pesquisa avançada, buscando no título as palavras-chave: reatores nucleares. Os resultados apresentados identificaram: a evolução anual dos depósitos de patentes, os principais inventores, países que se destacam como depositantes, classificação internacional e perfil dos depositantes.

A Figura 1 apresenta o fluxograma para a busca de patentes sobre os reatores nucleares no Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI.

**Figura 1:** Fluxograma de busca de patentes

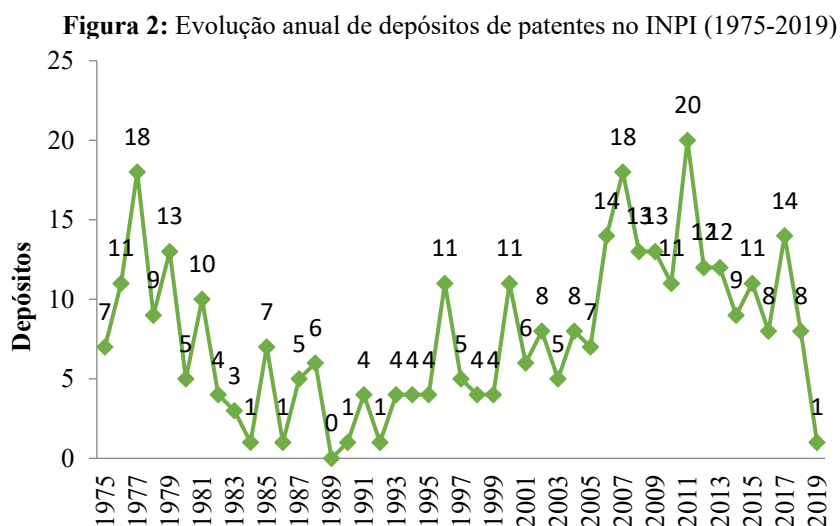


**Fonte:** Elaborado pelos autores por meio de dados do *Scopus* (2021)

A Figura 1 apresenta as etapas utilizadas para realizar a coleta de dados. Foram encontrados 351 depósitos de patentes relacionados aos reatores nucleares, utilizando a palavra-chave “reatores nucleares” no campo título.

## RESULTADOS

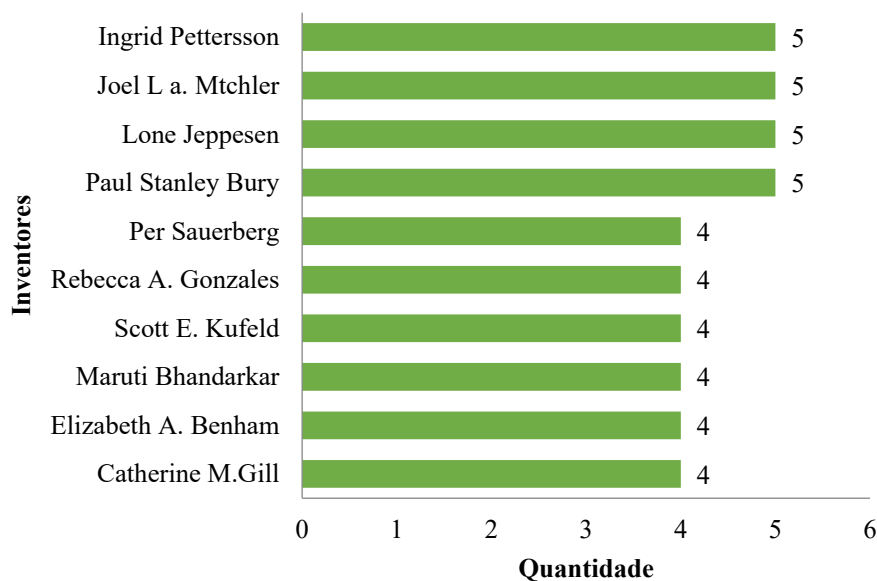
Foram analisados trezentos e cinquenta e um (351) depósitos de patentes relacionados aos reatores nucleares no Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI. A Figura 2 apresenta a evolução anual destes depósitos de patentes, entre os anos de 1975 a 2019



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

A Figura 2 demonstra que em 2011 houve o maior número de depósitos, vinte (20). No entanto, os anos que mais se aproximaram do maior valor encontrado foram 1977 e 2007, ambos com dezoito (18) depósitos. Nos demais anos, o número de depósitos oscilou, sendo que alguns anos apresentaram apenas um (01) depósito, enquanto outros anos mais que dez (10).

**Figura 3:** Principais Inventores

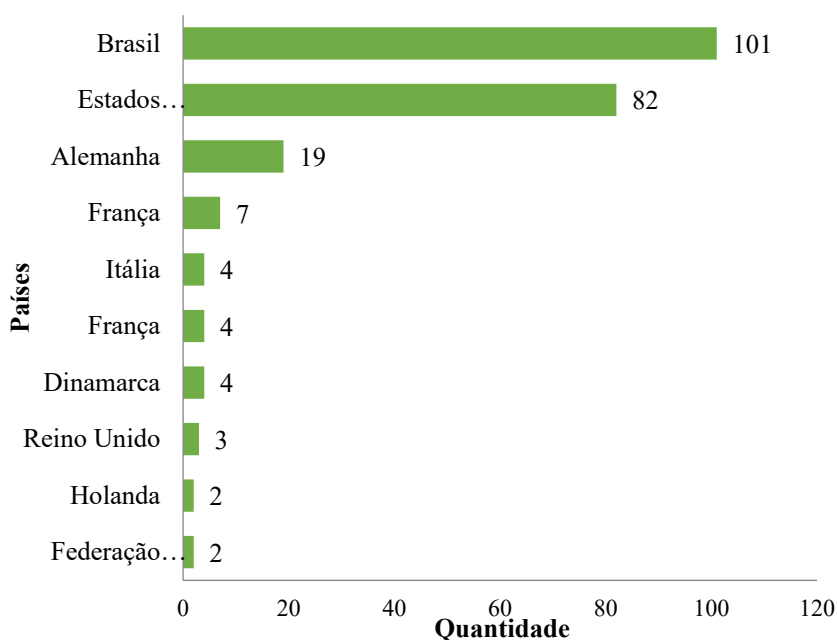


Fonte: Elaborado pelos autores (2021)



A Figura 3 apresenta os principais inventores que depositaram suas tecnologias relacionadas aos reatores nucleares no INPI. O gráfico apresenta os dez (10) principais inventores neste banco de dados. Os depositantes que depositaram mais vezes correspondem a cinco (05) e quatro (04) depósitos. Vale ressaltar que uma tecnologia pode ser depositada mais de uma vez pelo mesmo inventor no mesmo banco de dados, o que contribui significativamente para que as tecnologias voltadas aos reatores nucleares sejam realizadas, bem como protegidas para que não sejam utilizadas de maneira indevida.

**Figura 4:** Principais países depositantes

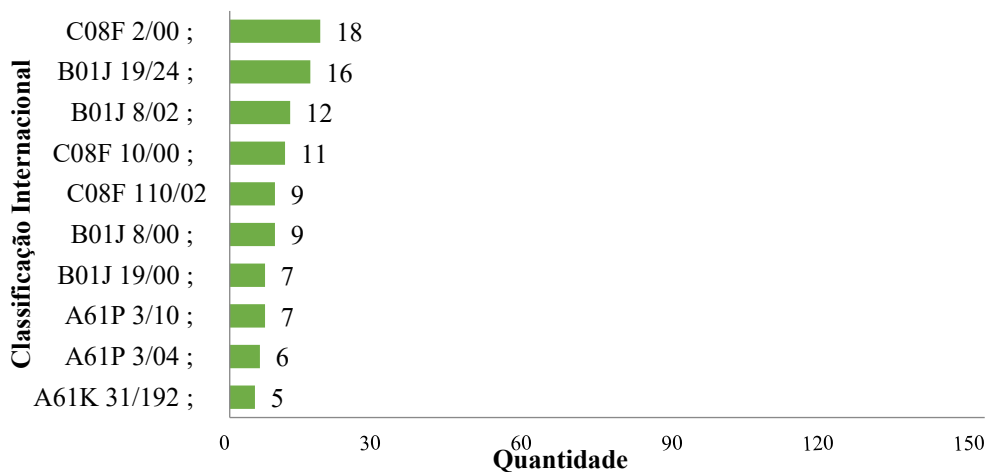


**Fonte:** Elaborado pelos autores (2021)

A Figura 4 identifica os dez (10) países que depositaram suas tecnologias sobre reatores nucleares com maior frequência no INPI. O Brasil apresentou o maior número de depósitos, pois, dos trezentos e cinquenta e um (351) depósitos analisados para este estudo, cento e um (101) são representados pelo Brasil, seguido dos Estados Unidos, com oitenta e dois (82) depósitos, e Alemanha (19). Os demais países que apresentaram interesse em proteger suas tecnologias sobre reatores nucleares neste banco de dados brasileiro apresentaram sempre um valor menor que dez (10) depósitos.



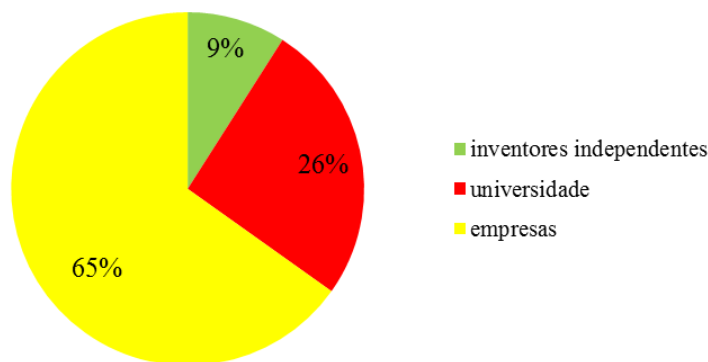
**Figura 5:** Número de depósitos de patentes por código de classificação internacional no INPI



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2021)

A Figura 5 mostra o código de classificação internacional no INPI, que expõe as dez (10) principais classificações sobre esta pesquisa. Destaca-se a classificação C08F 2/00, aparecendo mais vezes, um total de (18). Essa, por sua vez, está relacionada aos processos de polimerização. Na sequência, aparece a classificação B01J 19/24, em um total de dezesseis (16) vezes, a qual trata de reatores estacionários sem elementos móveis no interior. A primeira classificação citada encontra-se na seção C, representando a química e metalurgia, enquanto a segunda encontra-se na seção B, representando as operações de processamento.

**Figura 6:** Perfil dos depositantes



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2021)

A Figura 6 apresenta o perfil dos depositantes das tecnologias sobre reatores nucleares. As empresas são as principais instituições com maior número de depósitos, percentual equivalente a (65%). Na sequência, aparecem as universidades, com (26%), e por último, os inventores independentes, com (9%). O maior número de depósitos corresponde à empresa Novo Nordisk, somando um quantitativo de cinco (05) depósitos. Trata-se de uma empresa farmacêutica dinamarquesa, a qual mantém suas instalações industriais em sete países. Os seus



escritórios encontram-se em oitenta países e é a maior produtora de insulina do mundo. Sobre as universidades e centros de pesquisa, algumas depositaram duas (02) vezes, mas a maioria apenas uma (01) vez. Quanto aos inventores independentes, a maioria só depositou uma única vez nessa base de dados.

## CONCLUSÃO

A energia nuclear e os reatores nucleares são fontes de energia com alto desempenho. Entretanto, apresentam riscos que necessitam ser contornados, a fim de evitar que o vazamento de produtos radioativos cause danos ambientais, sociais e de saúde. O Brasil não promoveu avanços na área de energia nuclear nos últimos anos, como foi relatado por Gonçalves e Roitman (2019), que afirmam ainda que as fontes de energia renováveis vêm obtendo um avanço mais significativo no país.

A partir do mapeamento tecnológico no INPI sobre os reatores nucleares foi possível encontrar depósitos de patentes entre 1975 a 2019, sendo que o ano de 2011 apresentou o maior quantitativo de depósitos. E por meio dessa evolução foi possível identificar o quantitativo de depósitos ligados a tecnologia dos reatores, totalizando trezentas e cinquenta e um (351) depósitos.

O perfil dos depositantes, em sua maioria, foram as empresas privadas. Sobre os principais países depositantes, a maioria foi depositado pelo Brasil, seguido dos Estados Unidos. Ao que diz respeito aos códigos de classificação das patentes, a maioria diz respeito aos processos de polimerização e reatores estacionários sem elementos móveis no interior.

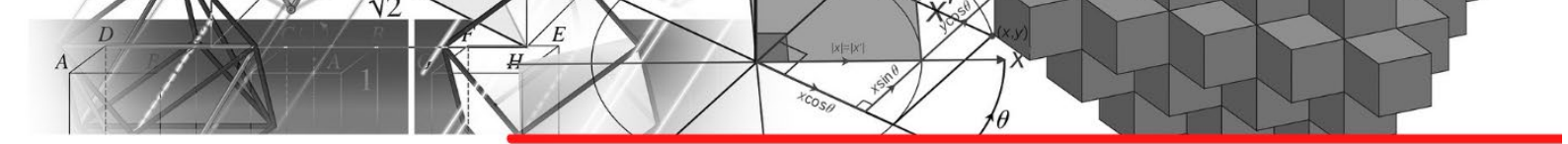
Como sugestões para pesquisas futuras, sugere-se que sejam feitas buscas de depósitos de patentes em bancos de dados internacionais, para saber como está a evolução anual e o quantitativo de tecnologias que estão sendo produzidas em relação aos reatores nucleares no mundo.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo à pesquisa.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, D. B. **Uma Introdução à Propriedade Intelectual**, 2ª. edição, Ed. Lumen Juris, 2010.



ELETRO NUCLEAR. **Quais as análises de segurança e riscos, e planejamento de ação de emergência?** Disponível em: <[http://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Documents/RIMA/10\\_quais.html](http://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Documents/RIMA/10_quais.html)>. Acesso em: 22 jun. 2020.

ELSISI, M.; ABDELFATTAH, H. New design of variable structure control based on lightning search algorithm for nuclear reactor power system considering load-following operation. **Nuclear Engineering and Technology**, v. 52, n. 3, p. 544–551, mar. 2020. 7

GOLDEMBERG, J. O futuro da energia nuclear. **Revista USP**, São Paulo, n.91, p. 6-15, setembro/novembro 2011.

GONÇALVES, F.; ROITMAN, T. Debatendo a participação da energia nuclear na matriz elétrica brasileira. **FGV Energia**, Boletim Informativo, 2019.

HIRSCH, H. et al. Perigos dos reatores nucleares: riscos na operação da tecnologia nuclear no século XXI. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 253–257, abr. 2007.

LOPES, P. R. DE L. Estudo da metodologia de análise de séries temporais aplicada à monitoração do tempo de resposta dos instrumentos ligados ao sistema de proteção de reatores nucleares. **Dissertação apresentada ao curso de Ciências na Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear**, IPEN/Universidade de São Paulo, 1995.

MESQUITA, A. Z. et al. Proposta de utilização do reator nuclear de pesquisa TRIGA IPR-R1 do centro de desenvolvimento da tecnologia nuclear (CDTN) em pesquisa e treinamento. **IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**, 2010.

MURA, L. E. C. Caracterização dos campos neutrônicos obtidos por meio de armadilhas de nêutrons no interior do núcleo do reator nuclear IPEN/MB-01. **Dissertação apresentada ao curso de Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Reatores**, IPEN/Universidade de São Paulo, 2011.

PERROTTA, J. A. **Curso de introdução à engenharia do núcleo de reatores**. p. 73, 1999.

PLANAS, O. **Reator nuclear | Como funciona uma usina nuclear? - Energia nuclear**. Disponível em: <<https://pt.energia-nuclear.net/operacao-usina-nuclear/reator-nuclear>>. Acesso em: 22 jun. 2020.

REZENDE, G. F. DA S. et al. Reatores nucleares de potência. **Trabalho submetido como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina - física das radiações**, Rio de Janeiro, 2009.

SANTOS, I. J. A. L. DOS. A ergonomia no licenciamento e na avaliação de salas de controle de reatores nucleares. **Tese Submetida ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia** da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

SILVA, M. A. B. DA. Determinação dos parâmetros de uma seção de testes para o pressurizador do reator nuclear IRIS. **Tese apresentada ao curso de Tecnologias Energéticas e Nucleares do Departamento de Energia Nuclear**, Universidade Federal de Pernambuco, 2008.

VEIGA, J. E. DA. Perspectiva nuclear pós-Fukushima. **Política Externa**, vol.20, nº 1, p. 153-9, Jun/Ago 2011.



# CAPÍTULO 4

## APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMA: COMO AUXILIAR NO ENSINO DA QUÍMICA

**Euana das Chagas**, Mestranda em Educação, Unioeste e Professora da educação infantil, Cascavel/ Pr

**Alex da Silva Cirino**, Graduando em Licenciatura em Química, Unioeste, Cascavel/Pr

### RESUMO

É perceptível que a educação tem sofrido diversas modificações, é um dos motivos para esse acontecimento é o vasto avanço tecnológico que interfere de forma direta e indireta no processo de ensino aprendizagem, dessa forma o modelo de educação tradicional, precisa ser transformado para dar lugar as metodologias educacionais mais inovadoras, visto isso, essa pesquisa tem como objetivo analisar os benefícios da metodologia de ensino Baseado em Problemas como ferramenta didática para o ensino de Química. Para tanto foi feita uma pesquisa bibliográfica, descritiva, de caráter qualitativo, de trabalhos científicos nas bases de dados Scientific Electronic Library Online (SciELO) e a Base de dados da CAPES. Conclui-se nesta pesquisa que a aprendizagem Baseada em Problema é um procedimento muito benéfico para o ensino da Química, pois ela favorece um ambiente de sala de aula, mais dinâmico e interativo, do qual desenvolve no estudante a autonomia, a responsabilidade, um pensamento crítico e reflexivo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensino da Química. Aprendizagem Baseada em Problema. Metodologia Ativa

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente o mundo é marcado pela excessiva quantidade de informações, logo o método tradicionalista das escolas, de transmissões de informação se torna insuficiente para a construção de um pensamento criativo (Freire,2011). Essa necessidade é vista pela tríade "imaginar, criar e inovar", esse foi o desafio proposto pela União Europeia em 2009, frisando a importância destes eixos para realizar um acréscimo na economia, na sociedade e nos sujeitos (FREIRE,2011).

O método comum de ensino, que é descrito por aulas expositivas do qual o conteúdo é escrito no quadro ou apenas apresentado em slides, dificilmente envolve o aluno ativamente no processo do ensino e aprendizagem e torna o processo de educação cansativo e desinteressante. Assim sendo, ensinar não seria apenas expor o conteúdo, mas propor o desenvolvimento do conhecimento para o aluno a partir de suas potencialidades (ESTEVAM,2020).



Na atualidade, existem traços de uma nova cultura em desenvolvimento, um novo momento histórico que pode ser considerado pós-modernidade. Assim, analisando esse novo momento histórico que se encontra em uma nova complexidade vivencial, veloz e mutante, a educação brasileira precisa refletir, reinventar-se e se preparar para lidar com um novo indivíduo. Diante dessa constatação é importante que o professor tenha como proposta estimular os estudantes a desenvolverem um pensamento crítico, reflexivo, que identifique e solucione problemas (Brasil,2001). As diversas tecnologias e inovações científicas, têm impulsionado o desenvolvimento de metodologias alternativas que proporcionem uma aprendizagem ativa, baseada em competências (SILVA,2019).

Lacerda (2018) descreve que a educação sofreu várias mudanças, e que o método comum de aprendizagem é discutido em relação aos padrões da educação contemporânea. Assim sendo, é perceptível que a educação necessita de mudanças para que possa acompanhar a nova cultura em que vivemos e atingir os alunos do século XXI. Um dos maiores desafios da sociedade atual é o desenvolvimento de metodologias inovadoras que proporcionem um processo de ensino aprendizagem significativo e de qualidade, metodologias que possibilitam a superação de uma educação engessada e comum (BESSA,2019, MARTINS,2013).

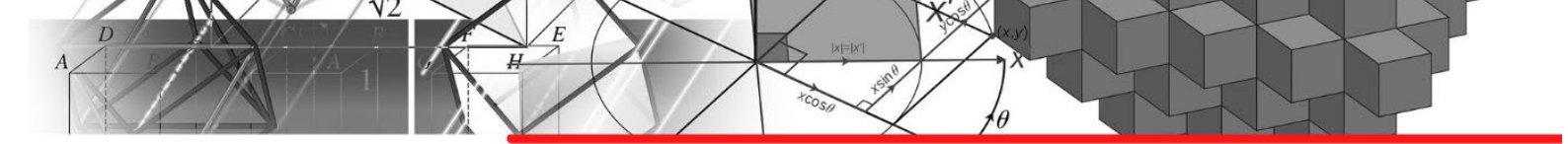
Segundo Quadros (2011) nos últimos anos a preocupação com o ensino da Química é algo recorrente, com os resultados negativos da prova do Enem, do Enade e de vestibulares fica evidente a necessidade de ferramentas didáticas que auxiliem o ensino de química proporcionando uma melhora significativa no ensino aprendizagem, além disso pela consequência da utilização, da relevância e da proximidade com o cotidiano, faz-se necessário o ensino de mecanismos de reações de química no período da formação dos alunos em Química. Todavia é perceptível que a aprendizagem e o ensino de Química são considerados uma temática difícil para os estudantes da disciplina e a fins (ESTEVAM,2020).

Visto isso, essa pesquisa tem como objetivo analisar os benefícios da metodologia de ensino Baseado em Problemas como ferramenta didática para o ensino de química. Para tanto, foi feito um levantamento de dados através de artigos científicos presentes em base de dados informatizados Scientific Electronic Library Online (SciELO) e a Base de dados da Capes.

## 2.METODOLOGIA

O presente artigo é um estudo de revisão sistemática, com metodologias exploratórias e descritivas, de abordagem qualitativa. De acordo com Gil (2002) é possível definir pesquisa como um conjunto de procedimentos que por sua vez é conduzido de maneira racional. A





pesquisa bibliográfica é uma pesquisa fundamentada a partir de materiais já dispostos, esses que por sua vez podem ser revistas, artigos, livros e entre outros.

Segundo Bento (2012) a revisão da literatura é uma parte fundamental para uma pesquisa. É baseada em localizar, analisar, sintetizar e interpretar a relação com a sua área de estudo; é, então, uma análise bibliográfica descritiva referente aos trabalhos já publicados sobre o tema. A revisão da literatura é indispensável para obter um trabalho de qualidade, contribuindo para o desenvolvimento do conhecimento.

Para realização deste estudo, foi feito um levantamento de dados através de artigos científicos presentes em base de dados informatizados Scientific Electronic Library Online (SciELO) e a Base de dados da CAPES. Para isso foram usados os seguintes descritores: Ensino da Química, Aprendizagem Baseada em Problema, Metodologia Ativa.

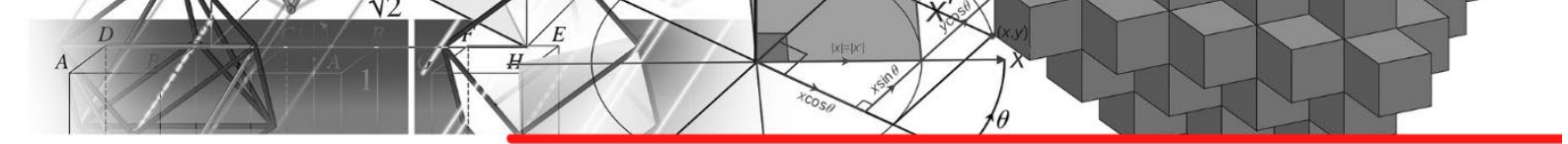
Com critérios de inclusão para esta pesquisa foram utilizados artigos encontrados na base de dados sobre a temática. Foram excluídos artigos que não fazem referência à temática pesquisada, artigos com língua estrangeira e textos incompletos ou indisponíveis na íntegra para o acesso. O artigo apresenta uma categoria que aborda: Aprendizagem Baseada em Problema no Processo do Ensino da Química.

### 3.DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMA NO PROCESSO DO ENSINO DA QUÍMICA.

Química é a ciência que estuda a matéria e suas transformações, seu entendimento é relevante, pois praticamente tudo que nos rodeia tem relação com Química; como por exemplo as paredes, o chão que andamos, a comida que ingerimos e entre outros. Quando entendemos Química compreendemos melhor o mundo, sua relevância está na análise crítica de mundo, do conhecimento construído e da compreensão para a resolução de problemas atuais. Desconstruindo desta forma a ideia de que os professores e alunos não compreendem os verdadeiros motivos para ensinar e aprender química (SANTOS,1996).

Nesse ínterim destaca se que a Química é uma ciência que se divide em três níveis: Macroscópico que se define basicamente por objetos que podem ser vistos a olho nu, mas existe um submundo de transformações por trás de tudo; microscópico, que é marcado por



transformações de átomos; simbólica do qual os fenômenos da Química são escritos e interpretados por meio de símbolos e equações matemáticas (ATKINS,2018).

Os conteúdos de química na maioria das vezes são demonstrados como prontos para os alunos, é muitas vezes não, é dialogado sobre as problemáticas que levaram os cientistas a desenvolverem uma determinada ideia, essa falta de contextualização do processo de problematização, faz com que os alunos compreendam os conceitos, mas, ao mesmo tempo apresentam uma considerável dificuldade de identificar e usar esses conceitos no dia a dia (SANTOS, 2008; PICCOLI,2016).

Uma das funções do ensino de Química deve ser a de desenvolver a capacidade de tomada de decisão, o que implica a necessidade de vinculação do conteúdo trabalhado com o contexto social em que o aluno está inserido (SANTOS,1996). Nas diretrizes curriculares para o ensino de Química Brasil (2001) descreve que é importante para os licenciados:

- Refletir de forma crítica a sua prática em sala de aula, identificando problemas de ensino/aprendizagem.
- Compreender e avaliar criticamente os aspectos sociais, tecnológicos, ambientais, políticos e éticos relacionados às aplicações da Química na sociedade.
- Saber trabalhar em laboratório e saber usar a experimentação em Química como recurso didático [...]
- Conhecer os fundamentos, a natureza e as principais pesquisas de ensino de Química.
- Ter atitude favorável à incorporação, na sua prática, dos resultados da pesquisa educacional em ensino de Química, visando solucionar os problemas relacionados ao ensino/aprendizagem (BRASIL,2001).

Segundo Estevam (2020) é preciso repensar a formação do docente com a finalidade de reverter o ensino baseado em técnicas caracterizado pela falta da integração disciplinar. O Licenciado em Química necessita uma formação generalista, sólida e abrangente em conteúdo em relação aos diversos tópicos da Química, preparação adequada e experiência em Química e de áreas afins (BRASIL,2001).

O ensino precisa ser muito mais do que uma mera repetição, é preciso instigar os alunos a momentos de reflexão, proporcionar situações de problema que possam ser identificados no cotidiano ou até mesmo no mercado de trabalho, estimular os estudantes para que encontrem os conteúdos estudados na escola em seu cotidianos, provocá-los a pesquisa para que desenvolvam uma opinião crítica, e busque na pesquisa as respostas para suas dúvidas (PICCOLI,2016).



Segundo Piccoli (2016) uma preocupação recorrente na disciplina de Química é como lecionar de maneira mais fácil, e que os alunos não sintam receio do que será proposto em sala. Dessa forma, situa-se que o ensino da Matemática, Química e Física são consideradas matérias difíceis. Nos últimos anos a preocupação em como ensinar Química na Educação Básica vem crescendo e, com isso, várias estratégias metodológicas vêm sendo utilizadas na busca pela melhoria da aprendizagem e do interesse dos alunos (PICCOLI,2016).

Contribuindo para isso atualmente na educação é utilizado as metodologias ativas, que tem por finalidade a construção do conhecimento é uma atividade de ensino-aprendizagem que estimula o reconhecimento dos problemas da atual sociedade desenvolvendo no aluno a capacidade de intervir e buscar soluções, essa metodologia tem um processo muito amplo e tem como principal objetivo que o aluno seja agente principal do ensino. O aluno é ativo em sala de aula, não apenas absorve informações passivamente Nas metodologias ativas o professor tem como “papel” ser o mediador e auxiliador, do qual problematiza o conteúdo, dialoga, faz pergunta e aprende ao ensinar, é um coordenador que dá a oportunidade de situações para que o aluno seja o protagonista (MORÁN,2015).

A uma necessidade de superar as crenças, e reconhecer que a metodologias ativas é um meio que facilita o processo pedagógico, e podem propor mudanças e quebras de paradigmas na educação. Elas são um meio para o ensino que têm linguagens e descrições específicas, trazendo novas perspectivas na relação do processo de ensino e aprendizagem. A fim de reverter as dificuldades de aprendizagem, esse trabalho apresenta como proposta a metodologia Baseada em Problema (MORÁN,2015)

A Aprendizagem Baseada em Problemas fundamenta-se em princípios educacionais e em resultados de pesquisas cognitivas (Ribeiro, 2008). Esse processo desenvolve a autonomia dos estudantes na aprendizagem, o que envolve, como principal característica, a solução de um problema orientado para discussão em grupo (Mori,2019). Esse método também tem como caracterizada problemas da vida real para incentivar as ideias e pensamentos críticos e proporcionar habilidades de resolver problemas e aprendizagem de conceitos essenciais da área de conhecimento em questão (RIBEIRO,2008; SILVA,2019)

Aprendizagem Baseada em Problema desenvolve uma busca ativa por parte dos estudantes que através de um problemática, buscam o entendimento e a construção de hipóteses sobre as possíveis causas e soluções para o problema proposto (MENEZES-RODRIGUES,2019).Segundo Santos (2008) Aprendizagem Baseado em Problemas, tem como



característica fornecer um número limitado de informações o que contribui para os alunos não percebam a solução de imediato, os instigando a desenvolver seu aprendizado ao tentar resolver a situação.

Dessa maneira, a Aprendizagem Baseada em Problemas tem alguns pilares: o aluno é o centro da educação, deve ter autonomia para aprender; solucionar problema; desenvolvimento cognitivo; interdisciplinaridade; e foco em organização de problemas e não em matérias, acrescentasse ainda que alguns dos benefícios desse método e a interação do aluno, aula dinâmicas e divertidas, formação de sujeitos autônomos, desenvolve a responsabilidade e capacidade de trabalho em equipe, maior comprometimento, engajamento, aumento de motivação, e melhora da compreensão e assimilação dos conteúdos ministrados nas diferentes disciplinas (MENEZES-RODRIGUES,2019).

Piccoli, (2016) descreve que é importante proporcionar situações problemas para os estudantes nas aulas de Química, tais problemas proporcionam um meio de ensino mais contextualizado e interdisciplinar, que diminuem o contexto de regras e conteúdo, além disso as provas se tornam mais leves, dessa forma a sala aula desenvolvem um ambiente com mais estratégias que envolvam os alunos, fazendo com que eles possam atuar com mais autonomia e, também auxiliam na criação de espaços que possibilitam maior participação dos alunos em aula.

Esse método no processo de ensino da química é eficaz e incentiva que os estudantes pensem sobre futuras ações docentes (Silva,2019). Utilizando essa estratégia, possibilitamos ao estudante a compreensão e a inter-relação entre os fatos cotidianos e o conteúdo estudado em sala de aula. Neste contexto, o professor passa a ser um mediador entre o aluno e a informação, considerando as possíveis soluções e suas consequências (PICCOLI,2016).

O ensino que utiliza Aprendizagem Baseada em Problema pressupõe que os alunos desenvolvam com auxílio do professor o domínio de procedimentos, assim como a utilização dos conhecimentos disponíveis para refletir e contribuir com respostas significativas (Piccoli,2016). O principal motivo na utilização da problematização em sala de aula é fazer com que os estudantes tenham uma participação mais dinâmica na sala de aula, a problematização se organiza em fazer com que os estudantes elaborem conhecimento científico (MORI,2019).

Contudo é de conhecimento que como qualquer outro método de ensino, a metodologia Baseada em Problemas também possui dificuldades e não é um processo fácil. O planejamento



das aulas se torna mais rigoroso, dessa forma o professor necessita ficar atento com as execuções e também com as avaliações de suas atividades propostas, é evidente que esse método exige uma participação ativa do aluno, o que difere do método passivo tradicional, é muito importante prestar atenção no despertar o interesse no aluno, pois é necessário que o aluno tome o problema desenvolvido do professor para si, para que assim o processo metodológico se inicie verdadeiramente (MORI,2011).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve por finalidade observar como a Aprendizagem Baseada em Problema pode ser benéfica para o processo de ensino da Química, visto que os alunos ao estudar Química encontram muitas dificuldades de relacionar o que aprendem em sala de aula, na vida real. E esse é um desafio importante por que a Química está em praticamente tudo em nosso redor, isso é incrível, por que quanto mais entendermos os processos de Química e seus conceitos, mais compreenderemos o mundo que nos cerca.

Desse modo, a Aprendizagem Baseada em Problema é uma ótima ferramenta para desenvolver um processo de aula mais dinâmico do qual o aluno, se torna o centro da educação. O estudante é estimulado a desenvolver sua própria autonomia em busca de seu próprio conhecimento, o estudante não recebe tudo pronto, tem que ir em busca de soluções.

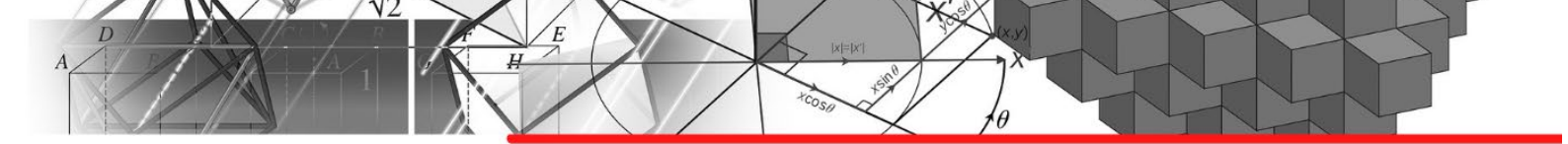
## REFERÊNCIAS

ATKINS, Peter *et al.* **Princípios de Química**: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente. 7. ed. [S. l.]: Bookman, 2018. 1094 p. ISBN 978-8582604618.

BESSA, Sônia; COSTA, Váldina Gonçalves da. **Apropriação do Conceito de Divisão por meio de Intervenção Pedagógica com Metodologias Ativas. Bolema: Boletim de Educação Matemática**, v. 33, n. 63, p. 155-176, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bolema/a/xVwsrLfgZZQCXJZgTcCn8Rc/abstract/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 22/jun./2021

Brasil. (2001a). Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química**. Parecer CNE/CES 1.303/2001. (2001a) Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1303.pdf> Acesso em: 22/jun./2021

CICUTO, Camila Aparecida Tolentino; MIRANDA, Ana Carolina Gomes; CHAGAS, Sinara da Silva. Uma abordagem centrada no aluno para ensinar Química: estimulando a participação ativa e autônoma dos alunos. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 25, n. 4, p. 1035-1045,



2019. Disponível em :< [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-73132019000401035&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-73132019000401035&script=sci_arttext)>. Acesso em:01/jun./2021

ESTEVAM, Idália Helena S.; SILVA, Emmanuelle Ferreira R.; SACRAMENTO, Ana Paula dos S. ELABORAÇÃO E USO DE ANIMAÇÕES COMO ESTRATÉGIA PARA O ENSINO DE MECANISMOS DAS REAÇÕES ORGÂNICAS. *Química Nova*, v. 43, n. 8, p. 1154-1162, 2020. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422020000801154&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422020000801154&script=sci_arttext)>. Acesso em:05/jun./2021

LACERDA, Flávia Cristina Barbosa; SANTOS, Leticia Machado dos. **Integralidade na formação do ensino superior: metodologias ativas de aprendizagem. Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)**, v. 23, n. 3, p. 611-627, 2018.

MARTINS, T. **A metamorfose do modo de ser e de estar no mundo atual e as reais mudanças na sala de aula presencial.** Revista Educação On-line. Rio de Janeiro, n. 12, p. 150-166, 2013. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/21609/21609>> Acesso em:05/jun./2021

MENEZES-RODRIGUES, Francisco Sandro et al. Vantagens da utilização do Método de Aprendizagem Baseada em Problemas (MAPB) em cursos de graduação na área da saúde. *Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação, Araraquara*, v. 14, n. 2, p.340-353, abr./jun.,2019. E-ISSN: 1982-5587. DOI: 10.21723/riaee.v14i2.11660

MORÁN, José. Mudando a educação com metodologias ativas. **Coleção mídias contemporâneas. Convergências midiáticas, educação e cidadania: aproximações jovens**, v. 2, n. 1, p. 15-33, 2015

Moran, M.; Masetto, M. T.; Behrens, A.; *Novas Tecnologias e Mediação Pedagógica*, 10a ed., Papirus: São Paulo, 2000.

MORI, Lorraine; DA CUNHA, Marcia Borin. 1B111 Metodologia da Problematização: uma pesquisa com estudantes de graduação em Química Licenciatura. **Tecné, Episteme y Didaxis: TED**, 2018. Disponível em:<https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/8867>. Acesso em:05/mai./2021

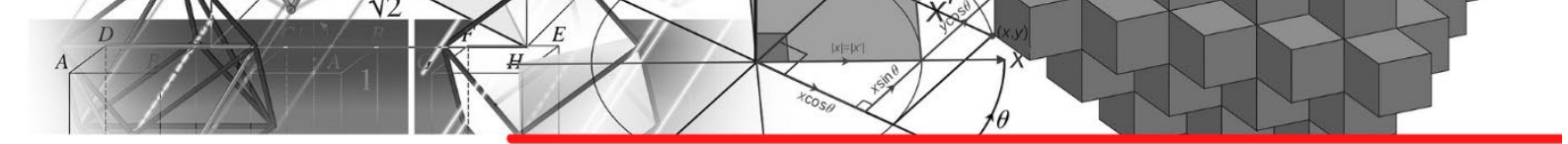
PICCOLI, Flávia. Aprendizagem baseada em problemas: uma estratégia para o ensino de química no ensino médio. 2016. Disponível em:<<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/153224>> Acesso em:17/jun./2021

QUADROS, Ana Luiza de et al. Ensinar e aprender Química: a percepção dos professores do Ensino Médio. **Educar em Revista**, p. 159-176, 2011.

RIBEIRO, L. R. de C. Aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma experiência no ensino superior. São Carlos, SP: Editora da UFSCAR, 2008. Disponível em:<<http://books.scielo.org/id/w57z2>> Acesso em:09/jun./2021

SANTOS, WLP dos; SCHNETZLER, Roseli Pacheco. Função social: o que significa ensino de química para formar o cidadão. **Química nova na escola**, v. 4, n. 4, p. 28-34, 1996.

SILVA, Ivoneide Mendes da; LINS, Walquíria Castelo Branco; LEÃO, Marcelo Brito Carneiro. Avaliação da aplicação da metodologia aprendizagem baseada em problemas na



disciplina de tecnologia da informação e comunicação no ensino de química. **Educación química**, v. 30, n. 3, p. 64-78, 2019. Disponível em: <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-893X2019000300064&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-893X2019000300064&script=sci_arttext)> Acesso em: 25/mai./2021



# CAPÍTULO 5

## APLICAÇÃO DA ELETROQUÍMICA DE MANEIRA DIDÁTICA: CONSTRUÇÃO DE UMA PILHA A PARTIR DE FORMA DE GELO

**Aluisie Picolotto**, graduanda em Engenharia Química, UNIVATES  
**Giovana Wanessa Franke Bohn**, Graduanda de Biomedicina, UNIVATES  
**Bruna Costa**, graduanda em Engenharia Química, UNIVATES  
**Sabrina Grandó Cordeiro**, mestranda em Biotecnologia, UNIVATES  
**Ani Caroline Weber**, mestranda em Biotecnologia, UNIVATES  
**Lucélia Hoehne**, doutora em Química e professora do PPG Biotecnologia, UNIVATES

### RESUMO

O estudo da eletroquímica pode ser aplicado em muitas áreas de desenvolvimento, inclusive pode ser aplicado no estudo de novas estruturas metálicas e sua respectiva resistência a corrosão, na obtenção de produtos, além de possibilitar o estudo de novas frentes da tecnologia. A aplicação da teoria em experimentos simples e de fácil manuseio é uma grande aliada no desenvolvimento do conhecimento e uma ferramenta importante para o aprendizado. Este trabalho visa construir uma célula galvânica com materiais de fácil acesso (forma de gelo, fios de cobre e parafusos de zinco), com o objetivo de visualizar e aplicar os conceitos da eletroquímica no cálculo do potencial elétrico da pilha em série e avaliar sua eficiência no acendimento de uma lâmpada de led. Observou-se que o potencial elétrico gerado pelas pilhas foi adequado para acender a lâmpada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eletroquímica. Célula Galvânica. Materiais Simples.

### INTRODUÇÃO

O estudo da química é essencial para o entendimento da grande maioria dos fenômenos presentes no dia a dia, assim como seus conceitos são fundamentais para o desenvolvimento de novas tecnologias, medicamentos, produção e desenvolvimento de alimentos, busca por alternativas sustentáveis, dentre inúmeras outras aplicações (GOMES et al., 2018).

Dentre a gama de conceitos que envolvem o estudo da química, a eletroquímica apresenta grande relevância, ao passo em que a técnica é empregada na produção de sensores, na fabricação de baterias, recobrimento de joias, além da importância na produção de hidrogênio que vem ganhando espaço como alternativa sustentável por não produzir gases poluentes e contribuintes ao efeito estufa (NETO, MOREIRA, 2007; ZANONI et al., 2017).

A eletroquímica envolve os processos que relacionam a formação de corrente elétrica a partir de reações químicas, nas quais a movimentação dos elétrons ocorre através das reações





de oxirredução. Esse processo pode ser observado em células eletroquímicas, que são compostas por duas placas condutoras (eletrodos), imersas em uma solução com presença de íons (eletrólito) e interligadas por meio de um circuito externo. O eletrólito é o responsável por permitir a movimentação iônica. O eletrodo que sofre a oxidação é o ânodo e conseqüentemente o eletrodo que é reduzido é denominado cátodo. A migração dos elétrons pelo circuito externo provoca um desequilíbrio de cargas e dessa forma é necessário a utilização de uma ponte salina, responsável pela passagem de íons que garantem a eletroneutralidade do sistema (LIMA, 2020).

As células podem ser divididas em galvânicas e eletrolíticas. As células galvânicas são as que geram energia através de reações de oxirredução espontâneas, na qual a energia é formada a partir do fluxo dos elétrons. Já as células eletrolíticas necessitam de uma fonte externa para forçar a ocorrência da reação, pois a mesma é não-espontânea (LIMA, 2020).

Partindo desse princípio, muito vem sendo desenvolvido a partir do estudo da eletroquímica, como a identificação de estruturas metálicas mais suscetíveis a corrosão, assim como a avaliação da técnica na busca por uma maneira menos agressiva ao meio ambiente para a obtenção de titânio (FRITZEN, TANIMOTO, CALDERARO, 2019; FRAY, SCHWANDT, 2017).

Práticas simples, com materiais de fácil acesso podem proporcionar uma grande evolução na área de conhecimento, pois há a formação de uma ponte entre o conteúdo teórico e sua aplicação no dia a dia. Dessa forma, busca-se neste trabalho a construção de uma célula galvânica com materiais de fácil acesso, com o objetivo de visualizar e aplicar os conceitos da eletroquímica e avaliar sua eficiência no acendimento de uma lâmpada de led.

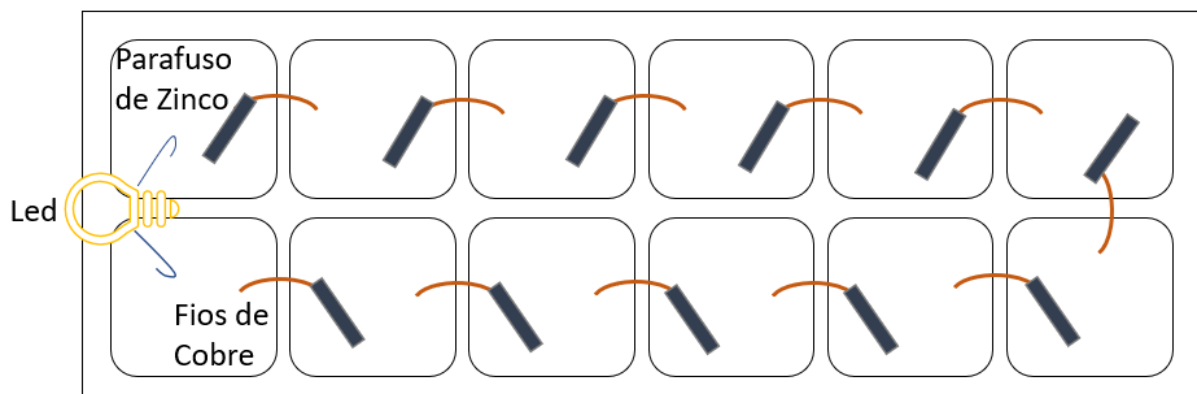
## METODOLOGIA

Para o experimento foram utilizados pedaços de fios de cobre, um estilete, uma forma de gelo, parafusos de zinco e uma lâmpada de led. Na forma de gelo, foram adicionadas pequenas quantidades de cloreto de sódio e água, em duas fileiras (12 espaços). Posteriormente, foram separados 11 pedaços de fio de cobre (com pouco mais que o dobro do comprimento de um parafuso), os quais foram enrolados na ponta de 11 parafusos de zinco, um pedaço de fio de cobre para cada parafuso.

Cada parafuso foi posicionado em um espaço da forma (célula), de modo que a cabeça do parafuso permanecesse em uma célula e o fio de cobre na célula ao lado, e que o fio de cobre de uma célula não encostasse no parafuso da outra célula. Ao final dos 12 espaços, foi

adicionado a lâmpada de led. Anotou-se as considerações do experimento. O esquema das células é apresentado na Figura 1.

**Figura 1** – Esquema para construção das células eletroquímicas.

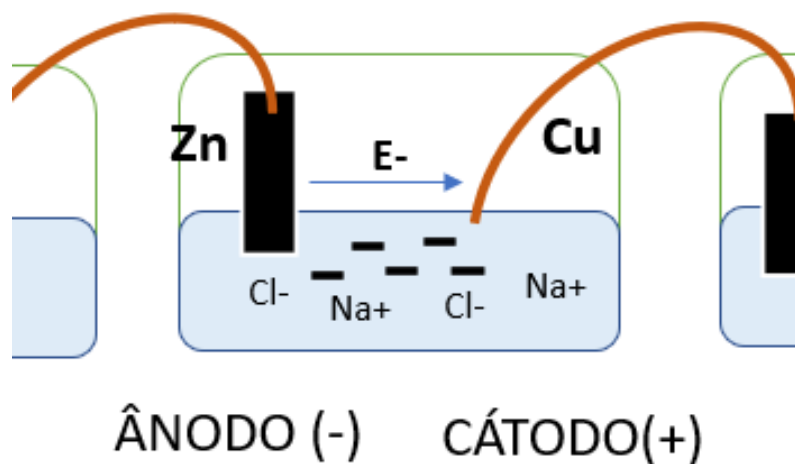


Fonte: Das autoras, 2021.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

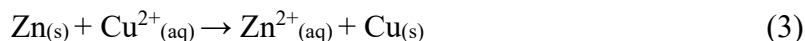
O experimento exemplifica como funcionam as pilhas de Daniell, a qual foi formada por 12 pilhas sequenciais. O sal presente em cada célula é o eletrólito, responsável por fornecer íons para a condução elétrica. A Figura 2 apresenta o esquema e o movimento dos elétrons que ocorre em uma única célula da pilha.

**Figura 2** – Funcionamento da célula e movimento dos elétrons.



Fonte: Das autoras, 2021.

A semirreação de oxidação que ocorre com o Zinco é representada nas Equações 1. Na sequência, a Equação 2 apresenta a semirreação de redução que ocorre com o Cobre. Com as semirreações obteve-se a reação global, expressa na Equação 3.



Os potenciais elétricos do Zinco e do Cobre são, conforme Quadro 1, -0,76 Volts (V) e 0,34 V respectivamente. Dessa forma, o potencial elétrico da célula é de 1,1 V conforme Equação 4.

**Quadro 1** – Potencial Elétrico de alguns elementos.

Par redox	$E^{\circ}/\text{V}$
$\text{Ce}^{4+}(\text{aq}) + \text{e}^{-} \rightarrow \text{Ce}^{3+}(\text{aq})$	+1,61
$\text{Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{e}^{-} \rightarrow \text{Ag}^0(\text{s})$	+0,80
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}^0(\text{s})$	+0,34
$\text{H}^{+}(\text{aq}) + \text{e}^{-} \rightarrow \frac{1}{2}\text{H}_2(\text{g})$	0
$\text{AgCl}(\text{s}) + \text{e}^{-} \rightarrow \text{Ag}^0(\text{s}) + \text{Cl}^{-}(\text{aq})$	+0,22
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Zn}^0(\text{s})$	-0,76
$\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^{-} \rightarrow \text{Al}^0(\text{s})$	-1,66
$\text{Na}^{+}(\text{aq}) + \text{e}^{-} \rightarrow \text{Na}^0(\text{s})$	-2,71

MAIOR PODER  
OXIDANTE



MAIOR PODER  
REDUTOR

**Fonte:** Lima, 2020.

$$E_0 = E_{\text{redução}} - E_{\text{oxidação}} \quad (4)$$

$$E_0 = 0,34 - (-0,76) = 1,1 \text{ V} \times 12 \text{ células} = 13,2 \text{ V}$$

Conforme tabela do fornecedor da lâmpada de led, são necessários cerca de 13 V para que a mesma seja ligada, e assim, pode-se perceber que o potencial fornecido pelas células galvânicas foi suficiente para acender levemente a lâmpada, conforme apresentado na Figura 3.



**Figura 3** – Resultado do experimento após as células construídas.



**Fonte:** Das autoras, 2021.

Outro fator a ser observado, é que devido a ausência de pontes salinas, as células não mantiveram-se eletricamente neutras e dessa forma, diminuíram sua potência fornecida gradativamente. Assim, o brilho evidenciado na lâmpada não apresentou efeito prolongado.

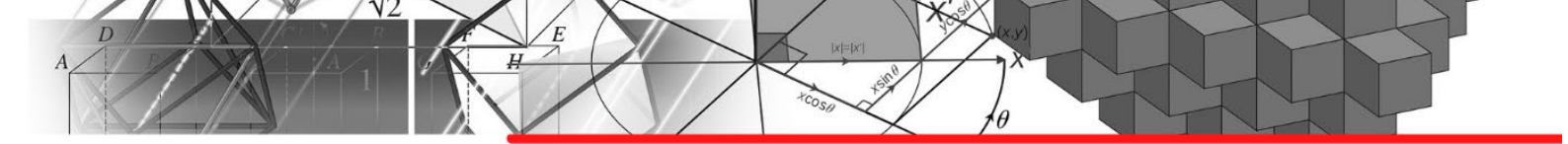
Xavier et al. (2019) buscaram resultado similar ao construírem células galvânicas em série a partir de maçãs. Os autores utilizaram fios de Cobre e pregos de Zinco que foram inseridos em 10 maçãs, as quais possuem íons de hidrogênio ( $H^+$ ) por apresentarem caráter ácido. As 10 maçãs também foram suficientes para o ascendimento da lâmpada de led.

Ainda, conforme o estudo de Silva et al. (2019), a metodologia na qual os estudantes tiveram a possibilidade de construir seu conhecimento de eletroquímica a partir de observações e experimentações resultaram em um melhor desempenho e absorção do conteúdo quando comparado a turma que recebeu somente aulas via exposição teórica. Esse relato vem ao encontro da importância na utilização e desenvolvimento de experimentos sem especificidade de materiais e/ou necessidade de gasto de reagentes.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do trabalho desenvolvido, observou-se que as 12 células construídas a partir de uma forma de gelo com os eletrodos de Zinco e Cobre foram eficientes ao atingir o objetivo de acender a lâmpada de led.

Esse trabalho possibilitou um aprofundamento na área da eletroquímica, ao passo em que pôde-se empregar materiais simples e que apresentaram resultados bons. A construção de



células é uma maneira prática de testar a eficiência do processo e materiais empregados, e se adequado, garantir uma melhor aplicação em produtos e processos de engenharia.

## REFERÊNCIAS

FRAY, Derek; SCHWANDT, Carsten. Aspects of the application of electrochemistry to the extraction of titanium and its applications. **Materials transactions**, p. MK201619, 2017. Disponível em: <[https://www.jstage.jst.go.jp/article/matertrans/advpub/0/advpub\\_MK201619/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/matertrans/advpub/0/advpub_MK201619/_pdf/-char/ja)>. Acesso em: 28 jun. 2021.

FRITZEN, Lucas G.; TANIMOTO, Sonia T.; CALDERARO, Fernando P. Análise Do Potencial De Corrosão Em Estruturas Metálicas Na Formação De Células Eletroquímicas. In: XI ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA. 2019. **Anais [...]**. Disponível em: <<http://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/3487/1/LUCAS%20GUSTAVO%20FRITZEN.pdf>>. Acesso em: 28 jun 2021.

GOMES, Rachel N.; LIMA, Paula S.; KURIYAMA, Sergio N.; NETO, Antonio A. F. Desenvolvimento da química verde no cenário industrial brasileiro. **Revista Fitos**, Rio de Janeiro, Edição Eletrônica, p. 80-89, set. 2018. Disponível em: <<https://revistafitos.far.fiocruz.br/index.php/revista-fitos/article/view/580>>. Acesso em: 24 jun. 2021.

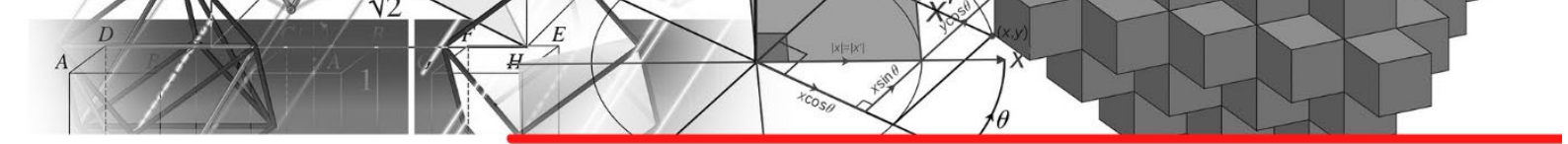
LIMA, Ana L. L. **Estudos de Eletroquímica: reações químicas e energia**. Curitiba, 2020. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br/Acervo/Publicacao/186448>>. Acesso em: 26 jun. 2021

NETO, Roberto L.; MOREIRA, José R. S. Geração e combustão do hidrogênio obtido através do processo de eletrólise da água. **Portal de química. Leis da Eletrólise**, 2007. Disponível em: <[http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2007/Artigos/Art\\_TCC\\_018\\_2007.pdf](http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2007/Artigos/Art_TCC_018_2007.pdf)>. Acesso em: 24 jun. 2021.

SILVA, Ana C. C. Q.; OLIVEIRA, Byanca M. M.; MAGALHÃES, Francisco G. R.; NASCIMENTO, Francisco M. G.; GIRÃO, Jardel S.; ALMEIDA, José W.; PORTELA, Rafael R. A Experimentação no Foco da Aprendizagem: Ensinando Eletroquímica de Forma Fácil e Barata. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 1, p. 8-14, 2019. Disponível em: <<http://www.conexoes.ifce.edu.br/index.php/conexoes/article/view/1486/1311>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

XAVIER, Giovana; DAMASCENO, Natalia; MELO, Paolla; CASTELANI, Danilo G.; BASSI, Ana L. Investigação de Reações Químicas através da Construção de um Circuito em Série, empregando Maças como Representação de uma Célula Galvânica. **Crear-Revista das Engenharias**, v. 2, n. 1, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.unifacel.com.br/index.php/crear/article/view/1824>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

ZANONI, Maria V. B.; BORGES, Alessandro S.; BENEDETTI, Assis V.; YAMANAKA, Hideko; SOTOMAYOR, Maria D. P. T.; BESSEGATO, Guilherme G.; STRADIOTTO,



Nelson R.; ZANTA, Carmem L. D. P. S.; ANDRADE, Adalgisa R. D. Panorama da eletroquímica e eletroanalítica no Brasil. *Química Nova*, 40, 663-669, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/6vQqc9TgNMWhnFfFh9q9JNs/?lang=pt>>. Acesso em: 26 jun. 2021.



# CAPÍTULO 6

## ATIVIDADE BACTERICIDA, TOXICIDADE FRENTE *Artemia salina* Leach E FENÓLICOS TOTAIS DO ÓLEO ESSENCIAL OBTIDO DE *Cinnamomum zeylanicum* Blume

**Thércia Gabrielle Teixeira Martins**, Bacharelado em Química Industrial, UFMA

**Leila da Silva Silveira**, Especialização em Hematologia, HUUFMA

**Liane Batista da Cruz Soares**, Mestrado em Gestão de Programas e Serviços de Saúde, HUUFMA

**Iago Pereira Mendonça**, Bacharelado em Biomedicina, Uninassau; Empresa Maranhense de Serviços Hospitalares

**Lizandra Kelly Serra Nunes**, Enfermeira de Controle de Infecção Hospitalar, Hospital Geral de Monção

**Josiane da Silva Pinto**, Bacharelado em Engenharia Química, UFSC, Blumenau

**Ari Pereira de Araújo Neto**, Doutorado em Biotecnologia, Universidade Federal do Delta do Parnaíba

**Gustavo Oliveira Everton**, Doutorado em Química, UFMA

### RESUMO

O presente estudo teve por objetivo avaliar a toxicidade frente a *Artemia salina* Leach e atividade antibacteriana in vitro do óleo essencial de *C. zeylanicum* frente às bactérias patogênicas de importância clínica e alimentar. O material vegetal foi obtido no município de São Luís-Ma. Os óleos essenciais foram extraídos por hidrodestilação a 100 °C/3 h. Para a determinação dos fenólicos totais executou-se a metodologia de Folin-Ciocalteu. O ensaio de toxicidade foi realizado através do bioensaio de letalidade frente *Artemia salina* Leach. A atividade antimicrobiana seguiu a metodologia descrita pelo Clinical and Laboratory Standards Institute utilizando o Método de Difusão de Disco e Diluição em Caldo para ação dos óleos essenciais frente às bactérias *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Staphylococcus aureus* e *Bacillus cereus*. Os óleos essenciais obtidos foram classificados como atóxicos no ensaio de toxicidade, apresentando baixa letalidade ao micro crustáceo *Artemia salina* Leach. No ensaio de atividade bactericida, o óleo essencial de *C. zeylanicum* apresentou resultados significativos, classificado como eficiente frente aos microrganismos testados. Por fim, destaca-se o uso do óleo essencial classificado como ativo e atóxico neste estudo como alternativa no controle e combate de microrganismos patogênicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Óleos essenciais; Antimicrobiano; *C. zeylanicum*.

### INTRODUÇÃO

Dentre as grandes preocupações da saúde pública nos dias atuais destacam-se as doenças infecciosas de origem clínica e alimentar. Doenças de origem alimentar são resultado da ingestão de alimentos contaminados com microrganismos ou substâncias químicas. Diversos patógenos são conhecidos por causarem doenças quando veiculados a alimentos e água, entre



os quais as bactérias constituem um grande grupo de doenças alimentares. Dentre essas bactérias destaca-se *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella sp* e *Bacillus cereus*.

*Bacillus cereus* é uma bactéria gram-positiva causadora de doenças transmitidas por alimentos e muito difundida na natureza e nos alimentos, pode causar intoxicação alimentar mesmo em doses muito baixas, produz uma variedade de fatores de virulência e pode entrar no trato gastrointestinal por ingestão, onde causa diarreia e vômitos (YU et al., 2020).

Estima-se que 25% da população humana seja portadora permanente de *Staphylococcus aureus* (DA SILVA, PICCOLI & TEBALDI, 2017), é um dos microrganismos mais prevalentes nas doenças transmitidas por alimentos. O quadro clínico de intoxicação tem sinais como náusea, vômito e cólicas, prostração e pressão baixa. Os seres humanos normalmente são os reservatórios e a transmissão ocorre devido a lesões nas mãos ou secreções que contaminam os alimentos durante sua manipulação (REIS, 2020).

As *Salmonella sp.* são consideradas umas das doenças transmitidas por alimentos mais prevalentes no mundo, amplamente distribuídas na natureza, sendo o trato gastrointestinal de humanos e animais, principalmente de aves, seu reservatório (ASSIS, 2014). A *Escherichia coli* é a mais conhecida pertencente ao grupo dos coliformes a 45°C, sendo o melhor indicador de contaminação fecal.

As infecções por *E. coli* geralmente estão ligadas ao consumo de alimentos contaminados através de manipuladores infectados pelo uso de água contaminada durante a preparação ou pelo consumo direto de água contaminada. Exemplos de alimentos implicados em surtos incluem queijos, leite não pasteurizado, comida pronta, vegetais, carnes moídas (FDA, 2012).

A resistência bacteriana é atualmente um dos problemas de saúde pública mais relevantes, representa um risco à qualidade de vida humana conquistada ao longo dos anos com o avanço da microbiologia, da engenharia genética, da farmácia e da medicina, comprometendo o orçamento dos sistemas de saúde (DA COSTA & JÚNIOR, 2017). A resistência cada vez maior de microrganismos aos produtos químicos e drogas convencionais têm levado aos cientistas a pesquisarem novas fontes de antimicrobianos com atividades de amplo espectro, a exemplo de produtos naturais com atividade bactericida (HUWER et al., 2018).

Os óleos essenciais (OE's) são compostos presentes naturalmente em plantas, notadamente nas plantas usadas como temperos na rotina, as especiarias, que são as partes secas de uma planta usadas para conferir sabor e efeito pungente aos alimentos. São voláteis,



odoríferos e imiscíveis, ou muito pouco miscíveis em água e atuam em funções biológicas importantes à sobrevivência das plantas relacionadas aos mecanismos de defesa, como a proteção contra excesso de ultravioleta, microrganismos, insetos e animais (REIS, 2020). A crescente demanda dos consumidores pelo uso de agentes antimicrobianos de fontes naturais justifica a incorporação de óleos essenciais aos alimentos (JIMÉNEZ et al., 2018). Os óleos essenciais podem apresentar ação antimicrobiana por três formas: interferência na dupla camada fosfolipídica da parede celular da bactéria, pelo aumento da permeabilidade e perda dos constituintes celulares, e por alteração de uma variedade de sistemas enzimáticos como os envolvidos na produção de energia celular e síntese de componentes estruturais ou destruição do material genético ( SARTO & JÚNIOR ZANUSSO, 2014).

Dentre as especiarias produtoras de OE destaca-se *C. zeylanicum* que é uma especiaria usada em todo o mundo, não apenas como condimento, mas também como medicamento. As cascas secas são popularmente utilizadas para tratar várias doenças, tais como amenorréia, artrite reumatóide, palpitação cardíaca, diarreia e neurose gastrointestinal (HE et al., 2016). A canela, como outras plantas, possui uma ampla variedade de metabólitos secundários e alguns exibem propriedades antibacterianas (NAZZARO et al., 2013). A quantidade e a presença de cada composto varia dependendo da parte da planta da qual foi extraído o óleo essencial (RAO & GAN, 2014). Desta forma, o presente estudo teve por objetivo avaliar o perfil químico, a toxicidade frente a *Artemia salina* Leach e atividade antibacteriana in vitro do óleo essencial de *C. zeylanicum* frente às bactérias de importância clínica e alimentar.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### COLETA DO MATERIAL VEGETAL

Foram obtidos paus de *Cinnamomum zeylanicum* (Figura 1) no mercado local do município de São Luís (MA), sendo transportados para o Laboratório de Pesquisa e Aplicação de Óleos Essenciais da Universidade Federal do Maranhão (LOEPAV/UFMA).

**Figura 1.** *Cinnamomum zeylanicum*.



**Fonte:** Autores (2021)



## OBTENÇÃO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Para extração dos óleos essenciais, utilizou-se a técnica de hidrodestilação com um extrator de Clevenger de vidro acoplado a um balão de fundo redondo acondicionado em manta elétrica como fonte geradora de calor. Foram utilizadas 100g dos paus de *C. zeylanicum*, adicionando-se água destilada (1:10). A hidrodestilação foi conduzida a 100°C por 3h recolhendo-se o óleo essencial extraído. Cada óleo essencial foi seco por percolação com sulfato de sódio anidro ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) e armazenado em refrigeração até posteriores análises.

## QUANTIFICAÇÃO DE FENÓLICOS TOTAIS

A determinação dos compostos fenólicos totais do óleo essencial foi realizada com adaptação do método de Folin-Ciocalteu (WATERHOUSE, 2002). Utilizou-se 5 mg do óleo essencial diluído em 1 mL de etanol. A esta solução foi adicionado 3 mL de água destilada, 500  $\mu\text{L}$  do reagente Folin-Ciocalteu e 2,0 mL de carbonato de sódio a 20%. A solução formada foi levada ao banho-maria a 50 °C por 5 min, retirada e deixada para esfriar; e, então, foi realizada a leitura em espectrofotômetro manual, em comprimento de 760 nm. A curva padrão foi expressa em  $\text{mg L}^{-1}$  de ácido tânico.

## TOXICIDADE

Em um recipiente retangular, com uma divisória contendo orifícios de aproximadamente 0,02 cm de espessura espaçados por 0,5 cm e distribuídos uniformemente, foram adicionadas soluções salinas artificiais (60  $\text{g L}^{-1}$  de água destilada) (60 g de sal marinho/ 1L de água destilada).

O recipiente foi colocado dentro de uma incubadora iluminada por uma lâmpada fluorescente, com aeração. De um lado deste recipiente, foram adicionados cerca de 64 mg de cistos *Artemia salina*, tendo em vista que eles não cruzaram a divisória. A parte do sistema contendo cistos foi coberta com papel alumínio, de modo que os organismos, ao nascer, foram atraídos pela luz do outro lado do sistema, forçando-os a atravessar a partição. Este procedimento visa homogeneizar as condições físicas dos organismos de teste. A incubação foi realizada por um período de 48h. Durante todo o teste a temperatura foi monitorada.

Para a avaliação da letalidade de *Artemia salina* Leach, foi preparada uma solução salina estoque do óleo essencial na concentração de 10.000  $\text{mg L}^{-1}$  e 0,02 mg de Tween 80 (tenso ativo). Aliquotas de 5, 50 e 500  $\mu\text{L}$  desta foram transferidas para tubos de ensaio e completados com solução salina já preparadas anteriormente até 5 mL, obtendo-se no final concentrações de



10, 100 e 1000 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Todos os ensaios foram realizados em triplicatas, onde dez larvas na fase náuplio foram transferidas para cada um dos tubos de ensaio. Para o controle do branco utilizou-se 5 mL da solução salina, para o controle positivo K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> e para o controle negativo 5 mL de uma solução 4 mg L<sup>-1</sup> de Tween 80. Após 24 horas de exposição, realizou-se a contagem das larvas vivas, considerando-se mortas aquelas que não se movimentaram durante a observação e nem com a leve agitação do frasco. Adotou-se o critério estabelecido por Dolabela (1997).

## ATIVIDADE ANTIMICROBIANA IN VITRO

### PADRONIZAÇÃO DO INÓCULO MICROBIANO PARA ENSAIOS DE SENSIBILIDADE

Foram utilizadas quatro cepas de bactérias: *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Salmonella sp.* (ATCC 700623), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) e *Bacillus cereus* (ATCC 11778). Estas foram previamente identificadas e confirmadas pelas provas bioquímicas. Culturas microbianas puras mantidas em ágar TSA foram repicadas para caldo de infusão de cérebro e coração (BHI) e incubadas a 35 °C até atingirem fase exponencial de crescimento (4-6 h). Após esse período, as culturas tiveram sua densidade celular ajustada em solução salina 0,85% estéril, de modo a se obter uma turbidez comparável à da solução padrão de McFarland 0,5, o que resulta em uma suspensão microbiana contendo aproximadamente 1,5 x 10<sup>8</sup> UFC mL<sup>-1</sup> de acordo com as normas do Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2015).

### MÉTODO DE DIFUSÃO DE DISCO (MDD)

A técnica de difusão de disco foi realizada segundo Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2015) que padroniza os testes de sensibilidade de antimicrobianos por disco-difusão. Primeiro foram preparadas as placas com o meio de cultura Ágar Mueller Hinton (AMH) após sua solidificação foi distribuído à suspensão microbiana na superfície do ágar e deixado em repouso à temperatura ambiente por 30 min. Logo após são preparados os discos contendo 50 µL do óleo essencial e os discos com concentrações definidas dos antibióticos. Utilizando-se pinça esterilizada, os discos foram distribuídos sobre a superfície do ágar. As placas foram incubadas em estufa bacteriológica a 35 °C por 24 horas. Os diâmetros dos halos de inibição foram mensurados, incluindo o diâmetro do disco. Esses ensaios foram feitos em triplicata. Os valores dos halos de inibição foram as médias das medidas dos três resultados. Ensaio realizado em triplicata.

## CONCENTRAÇÃO INIBITÓRIA MÍNIMA (CIM) E CONCENTRAÇÃO BACTERICIDA MÍNIMA (CBM)

O ensaio de Concentração Inibitória Mínima (CIM) foi realizado empregando-se a técnica de diluição em caldo, proposta pela *Clinical and Laboratory Standards Institute* (CLSI, 2020). Primeiramente foram preparadas soluções do óleo essencial utilizando-se dimetilsulfoxido (DMSO) a 2%, sendo preparadas diluições seriadas em caldo MH para o ensaio bacteriano, resultando nas concentrações de 10 a 1000  $\mu\text{g mL}^{-1}$ . A cada concentração foram adicionadas suspensão microbiana contendo  $1,5 \times 10^8$  UFC  $\text{mL}^{-1}$  das cepas *S. aureus*, *Bacillus*, *E. coli* e *Salmonella*. Os tubos foram incubados a  $35^\circ$  por 24h. Foram realizados os controles de esterilidade e crescimento para o ensaio realizado.

Após o período de incubação, foi verificada CIM do OE, sendo definida como a menor concentração que visivelmente inibiu o crescimento bacteriano (ausência de turvação visível). Ensaios realizados em triplicata. Para o ensaio de Concentração Bactericida Mínima (CBM) empregou-se uma alíquota de 100  $\mu\text{L}$  das diluições provenientes do caldo MH que visivelmente inibiram o crescimento microbiano. As alíquotas foram inoculadas em AMH e AMH (2% azul de metileno) com posterior incubação a  $35^\circ\text{C}$  por 24h. A CBM foi definida como a menor concentração que visualmente no ensaio de CIM apresentou inibição de crescimento e que nas culturas para os ensaios bactericida também não apresentaram crescimento microbiano.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### QUANTIFICAÇÃO DE FENÓLICOS TOTAIS

O resultado do teor total de fenólicos dos óleos essenciais está apresentado na Tabela 1. O conteúdo fenólico total foi expresso como equivalentes de ácido tânico (mg EAT / g de material vegetal) a equação da reta obtida, onde y representa a absorbância e x a concentração equivalente de ácido tânico.

**Tabela 1.** Quantificação de fenólicos totais (CFT) do óleo essencial de *C. zeylanicum*.

Óleo essencial	CFT mg EAT $\text{g}^{-1}$	Linear	R <sup>2</sup>
<i>Cinnamomum zeylanicum</i> (canela)	519,96	$y = 0,0586x + 0,06$	(0,9980)

**Nota:** CFT- Conteúdo Fenólico Total; **Fonte:** Autores (2021)

De acordo com a Tabela 1, pode-se confirmar um quantitativo importante de compostos fenólicos no óleo essencial de *C. zeylanicum*. Os antioxidantes de produtos naturais auxiliam



na diminuição de radicais livres presente no organismo, como os compostos fenólicos, quando em alimentos vegetais têm funções curativas, preventivas em distúrbios fisiológicos em seres humanos, com isso se torna interessante determinar a quantidade de compostos fenólicos totais em ervas condimentares in natura e desidratadas (SOARES, 2020).

A literatura corrobora com o quantitativo encontrado. Santos (2014) relatou em seu estudo elevados teores de fenóis para a canela de  $562 \text{ mg L}^{-1}$  ácido gálico e enfatizou que a ingestão da canela pode ter um efeito benéfico no controle da variação de níveis de glicose no sangue. No entanto, Bolilla et al. (2017) ao avaliarem o extrato etanoico de canela obtiveram  $172 \text{ mg GA g}^{-1}$ . Segundo Souza (2016), essa variação pode estar relacionada com a grande complexidade dos compostos fenólicos, pois essa classe de compostos compreende um número grande e com diferentes tipos de moléculas o que pode implicar em comportamentos diferentes de solubilidade e difusidade nas diferentes condições de extração.

Na indústria de alimentos, os antioxidantes sintéticos mais utilizados para controlar a oxidação lipídica são os compostos fenólicos butil-hidroxi-anisol (BHA), 2,6-di-tert-butil-4-hidroxitolueno (BHT), tercbutil-hidroquinona (TBHQ) e galato de propila (PG), porém estudos relacionados com a toxicologia desses compostos têm demonstrado a possibilidade destes apresentarem efeito carcinogênico em experimentos com animais. Assim, o uso destas substâncias como antioxidantes é restringido em vários países, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas com o intuito de encontrar produtos naturais destinados a esta finalidade, que permitirão a substituição dos sintéticos ou fazer associações entre eles, com a finalidade de diminuir sua quantidade nos alimentos. Condimentos vegetais e seus derivados têm sido usados para evitar a oxidação dos alimentos, bem como para combater os radicais livres (ANDRADE et al., 2012; RAMALHO & JORGE, 2006; RUBERTO & BARATTA, 2000).

## TOXICIDADE

Na Tabela 2 são apresentadas a Concentração Letal 50% ( $CL_{50}$ ) referentes a ação do óleo essencial frente a *Artemia salina* L. e sua posterior classificação segundo o critério de Dolabela (1997).

**Tabela 2.** Quantificação da  $CL_{50}$  para ação do óleo essencial de *C. zeylanicum* frente *Artemia salina* Leach e classificação de toxicidade.

OE	$CL_{50}$ ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ )	Linear	Erro padrão
<i>Cinnamomum zeylanicum</i> (canela)	653,4 (atóxico)	$y = 16,135x - 8,1245$	0,1485

Fonte: Autores (2021)

Conforme o resultado apresentado na Tabela 2 pode-se observar que o OE foi classificado como atóxico, de acordo com os critérios de Dolabela (1997). A concentração letal 50% refere-se ao ponto em que os números de animais sobreviventes são iguais ao número de animais mortos, possibilitando determinar a toxicidade a um organismo não-alvo (ARAÚJO et al., 2020). O conhecimento do potencial toxicológico das plantas é um fator importante para estipular o limite consumível, já que óleos essenciais com toxicidades elevada não são recomendados para aplicações biológicas.

Reis (2012) relatou que o óleo essencial das folhas de *C. zeylanicum* apresentou a CL<sub>50</sub> de 162,1 mg L<sup>-1</sup>, sendo considerado moderadamente tóxico, conforme os critérios de Dolabela (1997), enquanto nesse estudo, o óleo essencial dos paus de canela apresentou-se atóxico. Gomes et al. (2019) relatou atividade moderada ao avaliar a toxicidade do óleo essencial extraído das folhas de *C. zeylanicum* frente a *Artemia salina*. O que torna o presente estudo promissor, já que obtivemos atoxicidade para o OE extraído dos paus de *C. zeylanicum*

Sabe-se que os compostos bioativos são quase sempre tóxicos em altas concentrações. Diante disso, a avaliação da letalidade em um organismo animal menos complexo pode ser uma alternativa para um monitoramento simples e rápido. O ensaio de letalidade para larvas de *Artemia salina* tem sido introduzido na rotina de muitos grupos de pesquisa envolvidos com isolamento, purificação e elucidção estrutural, já que muitos laboratórios de fitoquímica não estão preparados para a realização de ensaios biológicos (GOMES et al., 2020).

## ATIVIDADE ANTIMICROBIANA

Os resultados referentes aos ensaios de disco-difusão para determinação dos halos de inibição para atividade antimicrobiana são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Diâmetro dos halos de inibição (mm) para ação do óleo essencial de *C. zeylanicum* frente aos microrganismos patogênicos testados.

OE	DHI - Diâmetro dos halos de inibição (mm)			
	<i>B. cereus</i>	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella sp.</i>	<i>S. aureus</i>
<i>Cinnamomum zeylanicum</i> (canela)	32 <sup>S</sup>	30 <sup>S</sup>	31 <sup>S</sup>	36 <sup>S</sup>

**Nota:** S-Sensível. **Fonte:** Autores (2021).

Conforme observado na Tabela 3, as cepas foram classificadas como sensíveis e resistentes de acordo com Moreira et al. (2005), sendo definida de acordo com o diâmetro do halo de inibição formado, sendo classificados como resistentes quando o halo de inibição for menor que 8 mm e sensíveis para halos de 9 a 14 mm. Desta forma, o óleo essencial de

*Cinnamomum zeylanicum* é descrito como ativo no controle e combate dos microrganismos patogênicos *B. cereus*, *E. coli*, *Salmonella sp.* e *S. aureus*.

Jiménez et al. (2018) ao avaliarem a ação antimicrobiana dos óleos essenciais de *C. zeylanicum* e *P. nigrum* frente a *S. aureus*, *Salmonella sp.* e *E. coli*, os autores relataram zonas de inibição menores para o óleo essencial *C. zeylanicum*, quando comparado a este estudo, onde obtiveram o halo de 8,20 mm para *S. aureus*, 10,15 mm para *Salmonella sp.* e 12,30 mm para *E.coli*. Em outra pesquisa realizada por Salviano et al. (2017) utilizando a casca de *C. zeylanicum* os autores relataram atividade para o óleo essencial das cascas, visto que o óleo essencial dos autores foram mais eficiente frente a *E. coli* com 36 mm, enquanto nesse estudo observou a eficiência melhor para *S. aureus*, já para *Salmonella* observaram o halo de inibição de 23 mm enquanto o encontrado neste estudo foi de 31 mm e o resultados para *B. cereus* foi semelhante ao deste estudo.

Segundo Santurio (2011), o efeito antimicrobiano está relacionado, principalmente, à alteração da permeabilidade e integridade da membrana celular bacteriana.

Os resultados referentes aos ensaios de Concentração Inibitória Mínima (CIM) e Concentração Bactericida Mínima (CBM) para determinação da atividade antimicrobiana são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Concentração Inibitória Mínima e Bactericida Mínima ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) do óleo essencial de *C. zeylanicum* frente aos microrganismos patogênicos.

Óleo essencial	CIM/CBM $\mu\text{g mL}^{-1}$	<i>B. cereus</i>	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella sp.</i>	<i>S. aureus</i>
<i>C. zeylanicum</i>	CIM	200	200	200	200
<b>(canela)</b>	<b>CBM</b>	400	400	400	400

**Nota:** OE, óleo essencial; CIM, Concentração Inibitória Mínima; CBM, Concentração Bactericida Mínima.

**Fonte:** Autores (2021)

Conforme Aliagiannis et al. (2001), a classificação da atividade antimicrobiana para espécimes vegetais, segundo os resultados da CIM, é considerada de forte inibição: CIM até  $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ ; inibição moderada: CIM entre 600 e  $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$ ; e fraca inibição: CIM acima de  $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$ . Dessa forma, de acordo com a Tabela 4, o OE de *C. zeylanicum* apresentou atividade bactericida e forte inibição.

Estudos já relataram a ação inibitória do OE de *C. zeylanicum*. No estudo realizado por Jiménez (2018) o óleo essencial de *C. zeylanicum zeylanicum* inibiu o crescimento de *S. aureus*, *E. coli* e *Salmonella*. Andrade et al., (2012) também observaram a inibição bacteriana do óleo essencial de *C. zeylanicum* frente a *S. aureus* e *E.coli* e constatou a presença de 14 constiuintes



no óleo essencial sendo os majoritários: (E)- cinamaldeído (77,72%), acetato de (E)-cinamila (5,99%) e o monoterpênóide 1,8- cineol (4,66%), esse resultado na inibição do crescimento bacteriano pode estar relacionado a presença do componente majoritário aldeído cinâmico em elevada concentração.

De acordo com a literatura, o mecanismo de ação de aldeídos provoca danos a lipídios e proteínas, onde acredita-se que o grupo carbonila é capaz de se ligar às proteínas, impedindo a ação de aminoácido decarboxilases. Os compostos fenólicos são capazes de alterar a permeabilidade da membrana plásmatica e penetrar nas células bacterianas, onde interagem em mecanismos metabólicos e essa interação afeta a permeabilidade da membrana e assim, ocorre a perda do seu potencial de resistência (HYLDGAARD, 2012).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, o potencial do OE deste estudo mostra-se promissor com um quantitativo importante de compostos fenólicos e sendo atóxico. E apresentou atividade bactericida extremamente eficiente, mostrando-se propício no controle de microrganismos patogênicos.

## REFERÊNCIAS

ALIGIANNIS, Nektarios et al. Composition and antimicrobial activity of the essential oils of two *Origanum* species. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 49, n. 9, p. 4168-4170, 2001.

ANDRADE, Milene Aparecida et al. Óleos essenciais de *Cymbopogon nardus*, *Cinnamomum zeylanicum* e *Zingiber officinale*: composição, atividades antibacteriana. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 399-408, 2012.

ARAÚJO, Rebecca Jemima Pereira et al. Caracterização química, atividade antimicrobiana e toxicidade dos óleos essenciais da *Pimenta dioica* L.(pimenta da Jamaica) e *Citrus sinensis* L. Osbeck (laranja doce). **Revista Colombiana de Ciências Químico-Farmacéuticas**, v. 49, n. 3, 2020.

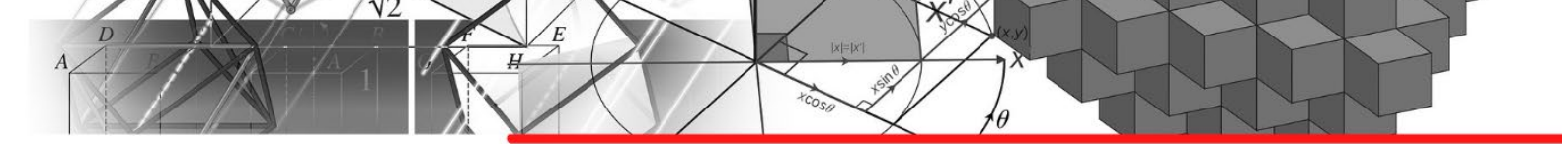
ASSIS, L. Alimentos seguros: ferramentas para gestão e controle da produção e distribuição. 2.ed.2 reimp. Rio de Janeiro: Senac Nacional, 2014, 376p.

BONILLA, Jeannine; SOBRAL, Paulo Jose do Amaral. Propriedades antioxidante e antimicrobiana de extratos etanólicos de guaraná, boldo, alecrim e canela. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, 2017.

Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), Performance standards for antimicrobial disk susceptibility tests, Approved Standard Eleventh Edition, 32, 2015.

DA COSTA, Anderson Luiz Pena; JUNIOR, Antonio Carlos Souza Silva. Resistência bacteriana aos antibióticos e Saúde Pública: uma breve revisão de literatura. **Estação Científica (UNIFAP)**, v. 7, n. 2, p. 45-57, 2017.





DA SILVA SANTOS, Caio Henrique; PICCOLI, Roberta Hilsdorf; TEBALDI, Victor Maximiliano Reis. Atividade antimicrobiana de óleos essenciais e compostos isolados frente aos agentes patogênicos de origem clínica e alimentar. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 76, p. 1-8, 2017.

DOLABELA, M. F. Triagem in vitro para atividade antitumoral e anti Trypanossoma cruzi de extratos vegetais, produtos naturais e substâncias sintéticas. **Master's Degree dissertation, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil**, 1997.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION et al. Bad bug book, foodborne pathogenic microorganisms and natural toxins. **Gram-positive bacteria. Second edition. Lampel K, Al-Khaldi S, Cahill S, editors. Silver Spring: Center for Food Safety and Applied Nutrition of the Food and Drug Administration (FDA), US Department of Health Services**, 2012.

BARROS GOMES, Paulo Roberto et al. Estudo da composição química, toxicidade e atividade moluscicida do óleo essencial Citrus sinensis (L.) Osbeck. **Rev. colomb. ciencias quim. farm**, p. 28-43, 2020.

HE, Shan et al. Nitric oxide inhibitory constituents from the barks of Cinnamomum cassia. **Fitoterapia**, v. 112, p. 153-160, 2016.

HÜWE, Carina et al. Potencial de tratamento antimicrobiano do polietileno linear de baixa densidade com poli ((tert-butil-amino) -metil-estireno) para reduzir a formação de biofilme na indústria de alimentos. **Biofouling** , v. 34, n. 4, pág. 378-387, 2018.

HYLDGAARD, Morten; MYGIND, Tina; MEYER, Rikke Louise. Óleos essenciais na preservação de alimentos: modo de ação, sinergias e interações com componentes da alimentar. **Fronteiras em microbiologia** , v. 3, p. 12, 2012.

JIMÉNEZ, Maribel et al. Elaboration and characterization of O/W cinnamon (Cinnamomum zeylanicum) and black pepper (Piper nigrum) emulsions. **Food** 910, 2018. **oids**, v. 77, p. 902-

MOREIRA, M. R. et al. Inhibitory parameters of essential oils to reduce a foodborne pathogen. **LWT-Food Science and Technology**, v. 38, n. 5, p. 565-570, 2005.

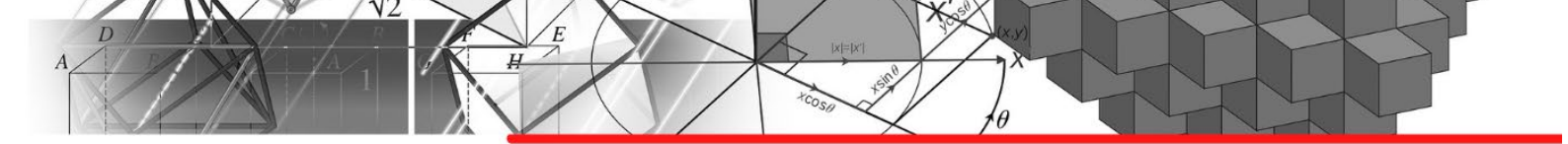
NAZZARO, Filomena et al. Effect of essential oils on pathogenic bacteria. **Pharmaceuticals**, v. 6, n. 12, p. 1451-1474, 2013.

RAMALHO, Valéria Cristina; JORGE, Neuza. Antioxidantes usados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. **Química Nova** , v. 29, n. 4, pág. 755-760, 2006.

RAO, Pasupuleti Visweswara; GAN, Siew Hua. Cinnamon: a multifaceted medicinal plant. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2014, 2014.

REIS, Jonas Batista et al. Estudo analítico, avaliação da toxicidade e atividade moluscicida do óleo essencial Cinnamomum zeylanicum Blume (canela) frente ao caramujo glabrata (Say, 1818). 2012.

REIS, Juliana Borges et al. Avaliação da atividade antimicrobiana dos óleos essenciais contra patógenos alimentares. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 1, p. 342-363, 2020.



RUBERTO, Giuseppe; BARATTA, Maria T. Antioxidant activity of selected essential components in two lipid model systems. **Food chemistry**, v. 69, n. 2, p. 167-174, 2000.

SALVIANO, Letícia Farag; GEROMEL, Mairto Roberis; FAZIO, Maria Luiza Silva. Atividade antibacteriana de óleos essenciais de café verde e torrado (*Coffea* (*Theobroma cacao*), casca e folha de canela-do-ceilão (*Cinnamomum zeylanicum*). **Hig. alim.**, p. 107-111, 2017.

SANTOS, Elisabeth Jerónimo dos. **Efeito da ingestão de chá de canela *C. burmannii* na glicemia pós-prandial de indivíduos adultos não diabéticos**. 2014. Tese de Doutorado.

SARTO, MARCELLA PAULA MANSANO; JUNIOR, GERSON ZANUSSO. Atividade antimicrobiana de óleos essenciais. **Revista UNINGÁ Review**, v. 20, n. 1, 2014.

SOARES, Vandelicia Gomes et al. Teor de compostos fenólicos e análises físico-químicas em diferentes condimentos in natura e desidratado de alecrim, hortelã, manjerição e orégano. 2020.

SOUZA, Volnei Brito de. **Extração e encapsulação por coacervação complexa das proantocianidinas da canela (*Cinnamomum zeylanicum* Blume)**. 2016. Tese de Universidade de São Paulo.

WATERHOUSE, Andrew L. Determinação de fenólicos totais. **Protocolos atuais em análise de alimentos**, v. 6, n. 1, pág. 11. 1.1-11. 1.8, 2002.

YU, Shubo et al. Um estudo sobre a prevalência e caracterização de *Bacillus cereus* em alimentos prontos para consumo na China. **Fronteiras em microbiologia**, v. 10, p. 3043, 2020.



# CAPÍTULO 7

## FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIMICROBIANA E TOXICIDADE FRENTE *Artemia salina* Leach DO ÓLEO ESSENCIAL OBTIDO DE *Thymus vulgaris*

**Thércia Gabrielle Teixeira Martins**, Bacharelado em Química Industrial, UFMA

**Leila da Silva Silveira**, Especialização em Hematologia, HUUFMA

**Liane Batista da Cruz Soares**, Mestrado em Gestão de Programas e Serviços de Saúde,  
HUUFMA

**Ari Pereira de Araújo Neto**, Doutorado em Biotecnologia, Universidade Federal do Delta do  
Parnaíba

**Mayra Fernanda Froes Rodrigues Ferreira**, Bacharelado em Biomedicina, UNINASSAU

**Elson Fonseca Costa**, Mestrado em Odontologia Saúde Coletiva; Hospital Universitário  
Materno Infantil

**Nilgicy Maria de Jesus Amorim**, Hospital Universitário Presidente Dutra da Universidade  
Federal do Maranhão

**Gustavo Oliveira Everton**, Doutorado em Química, UFMA

### RESUMO

A busca por agentes antimicrobianos naturais em alternativa aos conservantes sintéticos tem sido constante; a fim de proporcionar o controle microbiológico e a extensão da vida de prateleira, excluindo, assim, as desvantagens trazidas pelo uso de aditivos artificiais, por meio de ação bactericida de óleos essenciais. Dessa forma, o presente estudo teve por objetivo avaliar o perfil químico, a toxicidade frente a *Artemia salina* Leach e atividade antibacteriana in vitro do óleo essencial de *Thymus vulgaris* L. frente às bactérias patogênicas de importância clínica e alimentar. O material vegetal foi obtido no município de São Luís-Ma. Os óleos essenciais foram extraídos por hidrodestilação a 100 °C/3 h. Para a determinação dos fenólicos totais executou-se a metodologia de Folin-Ciocalteu. O ensaio de toxicidade foi realizado através do bioensaio de letalidade frente *Artemia salina* Leach. A atividade antimicrobiana seguiu a metodologia descrita pelo Clinical and Laboratory Standards Institute utilizando o Método de Difusão de Disco e Diluição em Caldo para ação dos óleos essenciais frente às bactérias *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Staphylococcus aureus* e *Bacillus cereus*. Na determinação do conteúdo fenólico total o óleo essencial obtido apresentou 368,77 mg EAT g<sup>-1</sup> de compostos fenólicos e foi classificado como atóxico no ensaio de toxicidade, apresentando baixa letalidade ao micro crustáceo *Artemia salina* Leach. No ensaio de atividade bactericida, o óleo essencial de *T. vulgaris* apresentou resultados significativos, classificado como eficiente frente aos microrganismos testados. Por fim, destaca-se o uso do óleo essencial de *T. vulgaris* foi classificado como ativo e atóxico apresentando-se como alternativa no controle e combate aos microrganismos patogênicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Óleos essenciais; Antimicrobiano; *Thymus vulgaris*.



## INTRODUÇÃO

A disseminação emergente de cepas bacterianas resistentes a antimicrobianos é um sério problema de saúde pública global e, apesar do grande avanço no desenvolvimento de novos antimicrobianos de amplo espectro, o uso indiscriminado desses medicamentos selecionou populações microbianas resistentes, limitando assim as opções terapêuticas de agentes infecciosos (FERREIRA et al., 2010). Nessa situação da resistência microbiana, destacam-se as bactérias Gram-positivas *Staphylococcus aureus* e *Bacillus cereus*, Gram-negativas *Escherichia coli* e *Salmonella sp.*

*S. aureus* destaca-se por ser um dos patógenos mais importantes, pois atua como agente infeccioso causando uma série de infecções, que vão desde infecções localizadas, como abscessos, até infecções disseminadas, como septicemia grave (ALVES et al., 2016). *B. cereus* é uma bactéria causadora de doenças transmitidas por alimentos e muito difundida na natureza e nos alimentos, pode causar intoxicação alimentar mesmo em doses muito baixas, produz uma variedade de fatores de virulência e pode entrar no trato gastrointestinal por ingestão, onde causa diarreia e vômitos (YU et al., 2020).

*E. coli* é o mais importante agente causador de infecções do trato urinário, que ao longo dos anos tem demonstrado resistência adquirida aos principais fármacos usados na terapia empírica desse tipo de infecção, como as fluoroquinolonas (MATTOS et al., 2014) e as *Salmonella sp.* são consideradas umas das doenças transmitidas por alimentos mais prevalentes no mundo, amplamente distribuídas na natureza, sendo o trato gastrointestinal de humanos e animais, principalmente de aves, seu reservatório (ASSIS, 2014).

Dentre as formas de controle da proliferação microbiana em alimentos pode-se mencionar o emprego de compostos naturais como conservantes, com ou sem o auxílio da tecnologia de barreiras. A crescente demanda dos consumidores pelo uso de agentes antimicrobianos de fontes naturais justifica a incorporação de óleos essenciais aos alimentos (JIMÉNEZ et al., 2018). Os óleos essenciais podem apresentar ação antimicrobiana por três formas: interferência na dupla camada fosfolipídica da parede celular da bactéria, pelo aumento da permeabilidade e perda dos constituintes celulares, e por alteração de uma variedade de sistemas enzimáticos como os envolvidos na produção de energia celular e síntese de componentes estruturais ou destruição do material genético (SARTO & JÚNIOR, 2014). Dentre as plantas produtoras de óleos essenciais destaca-se *Thymus vulgaris* L.

*Thymus vulgaris* L., popularmente conhecido como tomilho, trata-se de uma planta medicinal, aromática e condimentar, pertencente à família Lamiaceae, originária da Europa e cultivada no sul e sudeste do Brasil. Esta planta, muito utilizada na medicina popular, possui óleo essencial já relatado como responsável por suas atividades anti-séptica, expectorante, carminativa e antiespasmódica (GONÇALVES et al., 2018).

Nesse contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar o perfil químico, toxicidade e a atividade antibacteriana in vitro do óleo essencial de *Thymus vulgaris* L. frente a bactérias Gram-positivas representadas por *Staphylococcus aureus* e *Bacillus cereus* e Gram-negativas representadas por *Escherichia coli* e *Salmonella sp.*

## MATERIAIS E MÉTODOS

### COLETA DO MATERIAL VEGETAL

Foram adquiridas as folhas de *Thymus vulgaris* (Figura 1) no mercado local do município de São Luís (MA), sendo transportados para o Laboratório de Pesquisa e Aplicação de Óleos Essenciais da Universidade Federal do Maranhão (LOEPAV/UFMA).

**Figura 1.** *Thymus vulgaris*.



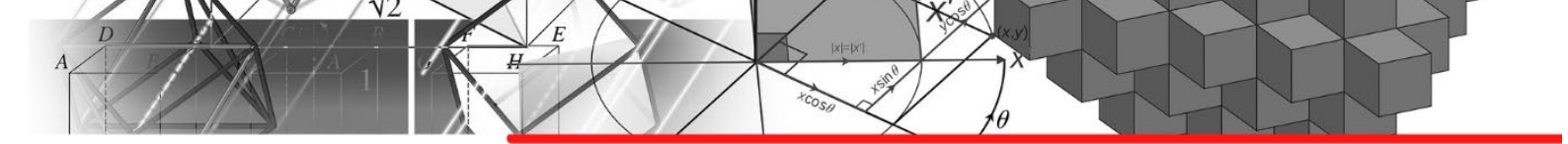
**Fonte:** Autores (2021)

### OBTENÇÃO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Para extração dos óleos essenciais, utilizou-se a técnica de hidrodestilação com um extrator de Clevenger de vidro acoplado a um balão de fundo redondo acondicionado em manta elétrica como fonte geradora de calor. Foram utilizadas 100g as folhas de *Thymus vulgaris*, adicionando-se água destilada (1:10). A hidrodestilação foi conduzida a 100°C por 3h recolhendo-se o óleo essencial extraído. Cada óleo essencial foi seco por percolação com sulfato de sódio anidro ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) e armazenado em refrigeração até posteriores análises.

### QUANTIFICAÇÃO DE FENÓLICOS TOTAIS

A determinação dos compostos fenólicos totais do óleo essencial foi realizada com adaptação do método de Folin-Ciocalteu (WATERHOUSE, 2002). Utilizou-se 5 mg do óleo



essencial diluído em 1 mL de etanol. A esta solução foi adicionada 3 mL de água destilada, 500  $\mu\text{L}$  do reagente Folin-Ciocalteu e 2,0 mL de carbonato de sódio a 20%. A solução formada foi levada ao banho-maria a 50 °C por 5 min, retirada e deixada para esfriar; e, então, foi realizada a leitura em espectrofotômetro manual, em comprimento de 760 nm. A curva padrão foi expressa em  $\text{mg L}^{-1}$  de ácido tânico.

## TOXICIDADE

Em um recipiente retangular, com uma divisória contendo orifícios de aproximadamente 0,02 cm de espessura espaçados por 0,5 cm e distribuídos uniformemente, foram adicionadas soluções salinas artificiais (60 g  $\text{L}^{-1}$  de água destilada) (60 g de sal marinho/ 1L de água destilada).

O recipiente foi colocado dentro de uma incubadora iluminada por uma lâmpada fluorescente, com aeração. De um lado deste recipiente, foram adicionados cerca de 64 mg de cistos *Artemia salina*, tendo em vista que eles não cruzaram a divisória. A parte do sistema contendo cistos foi coberta com papel alumínio, de modo que os organismos, ao nascer, foram atraídos pela luz do outro lado do sistema, forçando-os a atravessar a partição. Este procedimento visa homogeneizar as condições físicas dos organismos de teste. A incubação foi realizada por um período de 48h. Durante todo o teste a temperatura foi monitorada.

Para a avaliação da letalidade de *Artemia salina* Leach, foi preparada uma solução salina estoque do óleo essencial na concentração de 10.000  $\text{mg L}^{-1}$  e 0,02 mg de Tween 80 (tenso ativo). Aliquotas de 5, 50 e 500  $\mu\text{L}$  desta foram transferidas para tubos de ensaio e completados com solução salina já preparadas anteriormente até 5 mL, obtendo-se no final concentrações de 10, 100 e 1000  $\text{mg L}^{-1}$ , respectivamente. Todos os ensaios foram realizados em triplicatas, onde dez larvas na fase náuplio foram transferidas para cada um dos tubos de ensaio. Para o controle do branco utilizou-se 5 mL da solução salina, para o controle positivo  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  e para o controle negativo 5 mL de uma solução 4  $\text{mg L}^{-1}$  de Tween 80. Após 24 horas de exposição, realizou-se a contagem das larvas vivas, considerando-se mortas aquelas que não se movimentaram durante a observação e nem com a leve agitação do frasco. Adotou-se o critério estabelecido por Dolabela (1997).



## ATIVIDADE ANTIMICROBIANA IN VITRO

### PADRONIZAÇÃO DO INÓCULO MICROBIANO PARA ENSAIOS DE SENSIBILIDADE

Foram utilizadas quatro cepas de bactérias: *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Salmonella sp.* (ATCC 700623), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) e *Bacillus cereus* (ATCC 11778). Estas foram previamente identificadas e confirmadas pelas provas bioquímicas. Culturas microbianas puras mantidas em ágar TSA foram repicadas para caldo de infusão de cérebro e coração (BHI) e incubadas a 35 °C até atingirem fase exponencial de crescimento (4-6 h). Após esse período, as culturas tiveram sua densidade celular ajustada em solução salina 0,85% estéril, de modo a se obter uma turbidez comparável à da solução padrão de McFarland 0,5, o que resulta em uma suspensão microbiana contendo aproximadamente  $1,5 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup> de acordo com as normas do Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2015).

### MÉTODO DE DIFUSÃO DE DISCO (MDD)

A técnica de difusão de disco foi realizada segundo Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2015) que padroniza os testes de sensibilidade de antimicrobianos por disco-difusão. Primeiro foram preparadas as placas com o meio de cultura Ágar Mueller Hinton (AMH) após sua solidificação foi distribuído à suspensão microbiana na superfície do ágar e deixado em repouso à temperatura ambiente por 30 min. Logo após são preparados os discos contendo 50 µL do óleo essencial e os discos com concentrações definidas dos antibióticos. Utilizando-se pinça esterilizada, os discos foram distribuídos sobre a superfície do ágar. As placas foram incubadas em estufa bacteriológica a 35 °C por 24 horas. Os diâmetros dos halos de inibição foram mensurados, incluindo o diâmetro do disco. Esses ensaios foram feitos em triplicata. Os valores dos halos de inibição foram as médias das medidas dos três resultados. Ensaios realizados em triplicata.

### CONCENTRAÇÃO INIBITÓRIA MÍNIMA (CIM) E CONCENTRAÇÃO BACTERICIDA MÍNIMA (CBM)

O ensaio de Concentração Inibitória Mínima (CIM) foi realizado empregando-se a técnica de diluição em caldo, proposta pela *Clinical and Laboratory Standards Institute* (CLSI, 2020). Primeiramente foram preparadas soluções do óleo essencial utilizando-se dimetilsulfoxido (DMSO) a 2%, sendo preparadas diluições seriadas em caldo MH para o ensaio bacteriano, resultando nas concentrações de 10 a 1000 µg mL<sup>-1</sup>. A cada concentração foram

adicionadas suspensão microbiana contendo  $1,5 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup> das cepas *S. aureus*, *Bacillus*, *E. coli* e *Salmonella*. Os tubos foram incubados a 35° por 24h. Foram realizados os controles de esterilidade e crescimento para o ensaio realizado.

Após o período de incubação, foi verificada CIM do OE, sendo definida como a menor concentração que visivelmente inibiu o crescimento bacteriano (ausência de turvação visível). Ensaio realizado em triplicata. Para o ensaio de Concentração Bactericida Mínima (CBM) empregou-se uma alíquota de 100 µL das diluições provenientes do caldo MH que visivelmente inibiram o crescimento microbiano. As alíquotas foram inoculadas em AMH e AMH (2% azul de metileno) com posterior incubação a 35°C por 24h. A CBM foi definida como a menor concentração que visualmente no ensaio de CIM apresentou inibição de crescimento e que nas culturas para os ensaios bactericida também não apresentaram crescimento microbiano.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### QUANTIFICAÇÃO DE FENÓLICOS TOTAIS

O resultado do teor total de fenólicos dos óleos essenciais está apresentado na Tabela 1. O conteúdo fenólico total foi expresso como equivalentes de ácido tânico (mg EAT / g de material vegetal), onde a equação da reta obtida  $y$  representa a absorbância e  $x$  a concentração equivalente de ácido tânico.

**Tabela 1.** Quantificação de fenólicos totais (CFT) do óleo essencial de *Thymus vulgaris*.

Óleo essencial	CFT mg EAT g <sup>-1</sup>	Linear	R <sup>2</sup>
<i>Thymus vulgaris</i> (tomilho)	368,77	$y = 0,0586 x + 0,06$	(0,9980)

**Nota:** CFT- Conteúdo Fenólico Total; **Fonte:** Autores (2021)

De acordo com a Tabela 1, pôde-se confirmar um quantitativo importante de compostos fenólicos de 368,77 mg EAT g<sup>-1</sup> no óleo essencial de *Thymus vulgaris*. Os compostos fenólicos em alimentos vegetais têm funções curativas, preventivas em distúrbios fisiológicos em seres humanos (SOARES, 2020). Eles são quimicamente definidos como substâncias que possuem um anel aromático com uma ou mais hidroxilas e podem apresentar outros grupos substituintes como ésteres, metil-ésteres e glicosídeos (DOS SANTO et al., 2020).

Almeida (2013) ao avaliar atividade antioxidante em extratos de *T. vulgaris* também determinaram o conteúdo de fenólico total pelo método de folin-ciocalteu e encontrou 33,55 mg EAG g<sup>-1</sup> do conteúdo fenólico total. Gonçalves et al. (2015) ao analisarem o conteúdo fenólico total em extratos aquosos de *T. vulgaris* relataram baixas concentrações e ressaltaram



que a extração de compostos fenólicos de produtos naturais é fortemente influenciada pelo solvente usado, ou seja, quanto maior sua polaridade, maior a quantidade de compostos fenólicos extraídos.

## TOXICIDADE

Na Tabela 2 são apresentadas a Concentração Letal 50% (CL<sub>50</sub>) referentes a ação do óleo essencial frente a *Artemia salina* L. e sua posterior classificação segundo o critério de Dolabela (1997).

**Tabela 2.** Quantificação da CL<sub>50</sub> para ação do óleo essencial de *T. vulgaris* frente *Artemia salina* Leach e classificação de toxicidade.

OE	CL <sub>50</sub> (µg mL <sup>-1</sup> )	Linear	Erro padrão
<i>Thymus vulgaris</i> (tomilho)	410,0 (atóxico)	y= 23,706x – 26,678	0,1161

Fonte: Autores (2021)

A concentração letal 50% (CL<sub>50</sub>) é referente ao número de animais sobreviventes ao número de animais mortos e assim é possível determinar a toxicidade de produtos naturais visando assim uma aplicação frente ao organismo alvo. Conforme o resultado apresentado na Tabela 2 pode-se observar que o OE foi classificado como atóxico, com a CL<sub>50</sub> de 410,0 mg L<sup>-1</sup> que é bastante acima do critério estabelecido por Dolabela (1997) que é de apenas 250 mg L<sup>-1</sup> para ser classificado como atóxico. Portanto, suas aplicações podem ser consideradas aceitáveis, já que não se recomenda aplicações biológicas de óleos essenciais com toxicidade elevada.

Os resultados descritos por Ramos et al. (2011) também corroboram aos dados relatados neste estudo, ao analisarem a citotoxicidade do óleo essencial de tomilho, relatando que o mesmo apresenta 25% de lise na concentração mínima testada (1,25 mg mL<sup>-1</sup>), evidenciando baixa toxicidade. A atividade citotóxica dos óleos essenciais provavelmente está relacionada a lipofilicidade de seus constituintes químicos, que devido sua interação com a membrana citoplasmática atravessa a parede celular rompendo as estruturas das diferentes camadas de polissacarídeos, ácidos graxos e fosfolipídios, atingindo vários alvos ao mesmo tempo, levando, assim, a morte celular (BAKKALI et al., 2006).

Conforme Botelho et al. (2010) o estudo da toxicidade é extremamente importante, pois fornece informações sobre a qualidade do ambiente ou parte dele, possibilitando assim mensurar qual a concentração letal de um determinado produto.

## ATIVIDADE ANTIMICROBIANA

Na Tabela 3 são apresentados os resultados referentes aos ensaios de disco-difusão para determinação dos halos de inibição para atividade antimicrobiana.

**Tabela 3.** Diâmetro dos halos de inibição (mm) para ação do óleo essencial de *Thymus vulgaris* frente aos microrganismos patogênicos testados.

OE	DHI - Diâmetro dos halos de inibição (mm)			
	<i>B. cereus</i>	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella sp.</i>	<i>S. aureus</i>
<i>Thymus vulgaris</i> (tomilho)	30 <sup>S</sup>	27 <sup>S</sup>	24 <sup>S</sup>	32 <sup>S</sup>

**Nota:** S-Sensível. **Fonte:** Autores (2021).

Conforme observado na Tabela 3, as cepas foram classificadas como sensíveis e resistentes de acordo com Moreira et al. (2005), sendo definida de acordo com o diâmetro do halo de inibição formado, sendo classificados como resistentes quando o halo de inibição for menor que 8 mm e sensíveis para halos de 9 a 14 mm. Desta forma, o óleo essencial de *Thymus vulgaris* é descrito como ativos no controle e combate dos microrganismos patogênicos testados.

O potencial do óleo essencial observado é explicado por Carvalho (2012) que explica que o potencial da planta se deve a presença de flavonoides, que têm a capacidade de complexar as proteínas e parede celular bacteriana, causando sua lise.

Reis et al. (2020) ao analisarem atividade antimicrobiana do óleo essencial de *T. vulgare* observaram a formação de halo de inibição de 11,7 mm para *Salmonella*, 16 mm para *E. coli* e não obtiveram halo de inibição para *S. aureus*, o que revigora os resultados satisfatórios obtidos nesse estudo, onde para *S. aureus* obteve-se a melhor eficiência do óleo essencial de *T. vulgare* com o halo de inibição de 32 mm. Viuda-Martos et al., (2011) ressaltam que a susceptibilidade de uma bactéria a um óleo essencial é resultado das diferenças existentes na estrutura da membrana celular.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados referentes aos ensaios de Concentração Inibitória Mínima (CIM) e Concentração Bactericida Mínima (CBM) para determinação da atividade antimicrobiana.

**Tabela 4.** Concentração Inibitória Mínima e Bactericida Mínima ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) do óleo essencial de *Thymus vulgaris* frente aos microrganismos patogênicos.

Óleo essencial	CIM/CBM	<i>B. cereus</i>	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella sp.</i>	<i>S. aureus</i>
	$\mu\text{g mL}^{-1}$				
<i>Thymus vulgaris</i> (tomilho)	CIM	200	200	200	200
	CBM	400	400	400	400

**Nota:** OE, óleo essencial; CIM, Concentração Inibitória Mínima; CBM, Concentração Bactericida Mínima.

**Fonte:** Autores (2021)

Conforme Aligiannis et al. (2001), a classificação da atividade antimicrobiana para espécimes vegetais, segundo os resultados da CIM, é considerada de forte inibição: CIM até  $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ ; inibição moderada: CIM entre  $600$  e  $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$ ; e fraca inibição: CIM acima de  $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$ . Dessa forma, de acordo com a Tabela 4, todas as cepas bacterianas como sensíveis frente ao óleo essencial de *T. vulgaris*.

Cattelan (2012) em seu estudo, ao analisar atividade bacteriana óleo essencial de, *T. vulgaris* frente a *E. coli*, *S. aureus*, *S. typhi*, *P. aeruginosa*, *B. subtilis* e *B. cereus*, relatou que o óleo essencial de *T. vulgaris* teve eficiência na inibição bacteriana somente para *E. coli*, enquanto no presente estudo, obtivemos a CIM de  $200 \mu\text{g mL}^{-1}$ , para todos os microrganismos testados.

Acredita-se que os compostos responsáveis pela ação antibacteriana do óleo essencial de *T. vulgaris* sejam os fenólicos, presentes em grandes teores. De acordo com a literatura, o óleo essencial de *T. vulgaris* apresenta como composto majoritário o timol (46,6 %). Estudos relatam que os compostos fenólicos são capazes de alterar a permeabilidade da membrana plásmatica e penetrar nas células bacterianas, onde interagem em mecanismos metabólicos e essa interação afeta a permeabilidade da membrana e assim, ocorre a perda do seu potencial de resistência (HYLDGAARD, 2012).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, o óleo essencial de *T. vulgaris* apresentou um quantitativo significativo de compostos fenólicos, enfatizando assim, que este é apontado como um considerável bioativo, associado a diversos efeitos favoráveis à saúde. Além disso, apresentou-se atóxico e promissor para como antimicrobiano no controle de microrganismos patogênicos, representados por *E. coli* e *Salmonella sp.* como Gram-negativas, *S. aureus* e *B. cereus* como Gram-positiva.



## REFERÊNCIAS

ALIGIANNIS, Nektarios et al. Composition and antimicrobial activity of the essential oils of two *Origanum* species. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 49, n. 9, p. 4168-4170, 2001.

ALVES, J. E. et al. Atividade antibacteriana do extrato hidroalcoólico de jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne) e barbatimão (*Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville). **Revista Bionorte**, v. 5, n. 1, 2016.

ALMEIDA, Jacqueline de Florio. **Atividade antioxidante e microencapsulação de extrato etanólico de tomilho (*Thymus vulgaris* L.)**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ASSIS, L. Alimentos seguros: ferramentas para gestão e controle da produção e distribuição. 2.ed.2 reimp. Rio de Janeiro: Senac Nacional, 2014, 376p.

BAKKALI, Fadil et al. Biological effects of essential oils—a review. **Food and chemical toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008.

BOTELHO, Rafael Grossi et al. Toxicidade aguda e crônica do extrato de nim (*Azadirachta indica*) para *Ceriodaphnia dubia*. **Pesticidas: revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, v. 20, 2010.

CATTELAN, Marília Gonçalves. Atividade antibacteriana de óleos essenciais de especiarias em alimentos. 2012.

Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), Performance standards for antimicrobial disk susceptibility tests, Approved Standard Eleventh Edition, 32, 2015.

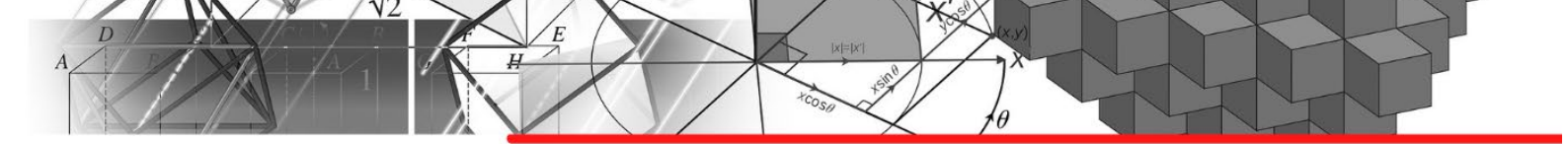
DOLABELA, M. F. Triagem in vitro para atividade antitumoral e anti *Trypanosoma cruzi* de extratos vegetais, produtos naturais e substâncias sintéticas. **Master's Degree dissertation, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil**, 1997.

DOS SANTOS, José Ribamar Nascimento et al. Avaliação da atividade bactericida e antioxidante do óleo essencial e do extrato hidroalcoólico de orégano (*Origanum vulgare*). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e7829108410-e7829108410, 2020.

FERREIRA, S. B. et al. Avaliação da atividade antimicrobiana in vitro do extrato hidroalcoólico de *Stryphnodendron adstringens* (Mart) Coville sobre isolados ambulatoriais de *Staphylococcus aureus*. **Revista Brasileira de Análises Clínicas**, p. 27-31, 2010.

GONÇALVES, Juarez Henrique Teixeira; SANTOS, Adriana Suellen; MORAIS, Harriman Aley. Atividade antioxidante, compostos fenólicos totais e triagem fitoquímica de ervas condimentares desidratadas. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 13, n. 1, p. 486-497, 2015.

HYLDGAARD, Morten; MYGIND, Tina; MEYER, Rikke Louise. Óleos essenciais na preservação de alimentos: modo de ação, sinergias e interações com componentes da matriz alimentar. **Fronteiras em microbiologia**, v. 3, p. 12, 2012.



JIMÉNEZ, Maribel et al. Elaboration and characterization of O/W cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) and black pepper (*Piper nigrum*) emulsions. **Food Hydrocolloids**, v. 77, p. 902-910, 2018.

MATTOS, K. P. H. et al. **Estudo do perfil de resistência de bactérias Gram-negativas em infecções urinárias de origem comunitária: influência da legislação atuante no controle de venda de antimicrobianos.** 2014.

MOREIRA, M. R. et al. Inhibitory parameters of essential oils to reduce a foodborne pathogen. **LWT-Food Science and Technology**, v. 38, n. 5, p. 565-570, 2005.

RAMOS, Anderson Valdiney Gomes et al. ATIVIDADE ANTIBACTERIANA E CITOTÓXICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE TOMILHO (*THYMUS VULGARIS L.*) E AVALIAÇÃO DE EFEITO SINÉRGICO COM CONSERVANTES SINTÉTICOS DE ALIMENTOS. **ALIMENTOS**, p. 38.

REIS, Juliana Borges et al. Avaliação da atividade antimicrobiana dos óleos essenciais contra patógenos alimentares. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 1, p. 342-363, 2020.

SARTO, MARCELLA PAULA MANSANO; JUNIOR, GERSON ZANUSSO. Atividade antimicrobiana de óleos essenciais. **Revista UNINGÁ Review**, v. 20, n. 1, 2014.

SOARES, Vandeliccia Gomes et al. Teor de compostos fenólicos e análises físico-químicas em diferentes condimentos in natura e desidratado de alecrim, hortelã, manjerição e orégano. 2020.

VIUDA-MARTOS, M. et al. In vitro antioxidant and antibacterial activities of essential oils obtained from Egyptian aromatic plants. **Food Control**, v. 22, n. 11, p. 1715-1722, 2011.

WATERHOUSE, Andrew L. Determinação de fenólicos totais. **Protocolos atuais em química analítica de alimentos**, v. 6, n. 1, pág. I1. 1.1-I1. 1.8, 2002.

YU, Shubo et al. Um estudo sobre a prevalência e caracterização de *Bacillus cereus* em alimentos prontos para consumo na China. **Fronteiras em microbiologia**, v. 10, p. 3043, 2020.



# CAPÍTULO 8

## CONTEÚDO FENÓLICO TOTAL, TOXICIDADE E ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE *Pimpinella anisum*, *Origanum vulgare* e *Rosmarinus officinalis*

**Thércia Gabrielle Teixeira Martins**, Bacharelado em Química Industrial, UFMA

**Leila da Silva Silveira**, Especialização em Hematologia, HUUFMA

**Carlos Eduardo Pereira Conceição**, Especialização em Medicina do Trabalho; Hospital  
Guarás

**Francilidia Oliveira Vitorino de Assunção Conceição**, Mestrado em Odontologia, Hospital  
Materno Infantil, UFMA

**Liane Batista da Cruz Soares**, Mestrado em Gestão de Programas e Serviços de Saúde,  
HUUFMA

**Leandra Maria Gonçalves**, Bacharelado em Biomedicina, Empresa Maranhense de Serviços  
Hospitalares

**Ari Pereira de Araújo Neto**, Doutorado em Biotecnologia, Universidade Federal do Delta do  
Parnaíba

**Gustavo Oliveira Everton**, Doutorado em Química, UFMA

### RESUMO

Atualmente, existe a demanda dos consumidores em relação a aditivos químicos sintéticos adicionados em alimentos com intuito de aumentar a vida útil na prateleira. Com isto, destaca-se os óleos essenciais como um bioproduto natural alternativo com propriedades antimicrobianas. O presente estudo teve por objetivo determinar o conteúdo fenólico total, a toxicidade frente a *Artemia salina* Leach e atividade antibacteriana in vitro dos óleos essenciais de *Origanum vulgare*, *Pimpinella anisum* L. e *Rosmarinus officinalis* frente às bactérias de importância clínica e alimentar. Os materiais vegetais foram adquiridos no município de São Luís-MA. Os óleos essenciais foram extraídos por hidrodestilação a 100 °C/3 h. Para a determinação dos fenólicos totais executou-se a metodologia de Folin-Ciocalteu. O ensaio de toxicidade foi realizado através do bioensaio de letalidade frente *Artemia salina* Leach. A atividade antimicrobiana seguiu a metodologia descrita pelo Clinical and Laboratory Standards Institute utilizando o Método de Difusão de Disco e Diluição em Caldo para ação dos óleos essenciais frente às cepas de *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Staphylococcus aureus* e *Bacillus cereus*. Os óleos essenciais obtidos apresentaram um quantitativo significativo de compostos fenólicos e foram classificados como atóxicos no ensaio de toxicidade, apresentando baixa letalidade ao micro crustáceo *Artemia salina* Leach. No ensaio de atividade bactericida, o óleo essencial de *O. vulgare* apresentou resultados significativos, classificado como eficiente frente aos microrganismos testados. Por fim, destaca-se o uso do óleo essencial classificado como ativo e atóxico neste estudo como alternativa no controle e combate de microrganismos patogênicos apresentando uma proposta de produto natural com baixo custo de obtenção e alto potencial de mercado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Óleos essenciais; Antimicrobiano; Condimentos.



## INTRODUÇÃO

Os aditivos alimentares com ação antimicrobiana são eficientes na redução do crescimento bacteriano. Com o aumento do uso de aditivos químicos nos alimentos com o intuito de estender a vida útil dos mesmos, tem-se observado um crescente interesse por parte da população e da indústria em diminuir a utilização destes, devido principalmente aos possíveis efeitos negativos de substâncias presentes nestes aditivos para a saúde humana (ANDRADE, 2013). Sendo o uso de aditivos antimicrobianos de origem natural, uma alternativa eficaz, econômica e que atende aos anseios dos consumidores por alimentos naturais e livres de aditivos sintéticos (CARNEIRO, 2018).

Historicamente, extratos vegetais de plantas aromáticas têm sido utilizados com diferentes fins em alimentos, medicamentos e cosméticos. As propriedades antimicrobianas dos condimentos e dos seus extratos vegetais, têm despertado grande interesse devido às perspectivas de constituírem uma alternativa natural aos aditivos químicos, pois através de várias pesquisas, pode comprovar-se a eficiência dos óleos essenciais de plantas como agentes antimicrobianos contra a microbiota deterioradora e patogênica de alimentos (MACHADO, BORGES & BRUNO, 2011).

Os óleos essenciais (OEs), derivados de plantas utilizadas como condimentos, representam complexas misturas de substâncias naturais, tradicionalmente utilizadas para acentuar gosto ou aroma de alguns alimentos. Constituem-se de substâncias, cujos componentes incluem hidrocarbonetos terpênicos, álcoois simples, aldeídos, cetonas, fenóis, ésteres, ácidos orgânicos fixos, em diferentes concentrações, em que um composto farmacologicamente ativo é majoritário. A maior parte da atividade antimicrobiana de OEs parece estar associada aos compostos fenólicos. O efeito antimicrobiano está relacionado, principalmente, à alteração da permeabilidade e integridade da membrana celular bacteriana (SANTURIO, 2011).

Dentre as plantas utilizadas como condimentos produtoras de óleos essenciais destaca-se *Pimpinella anisum*, *Rosmarinus officinalis* e *Origanum vulgare*.

*Pimpinella anisum* L., é uma planta pertencente à família Umbelliferae, sendo uma das mais antigas plantas medicinais. É uma erva herbácea anual com 30 – 50 cm de altura, flores brancas e pequenas sementes verdes e amarelas, que crescem no leste da região do Mediterrâneo, Ásia Ocidental, Oriente Médio, México, Egito e Espanha. Possui como propriedades terapêuticas a capacidade de inibição da fermentação intestinal, carminativa e antiespasmódica (DOS SANTOS & MARTINS, 2019).



*Rosmarinus officinalis*, pertencente à Família Lamiaceae, é uma especiaria conhecida desde a antiguidade por seus efeitos medicinais. Atualmente, diversos estudos têm apontado tal especiaria como antioxidante e antimicrobiana. A espécie *R. officinalis*, conhecida usualmente como alecrim, é procedente da Região Mediterrânea e possui porte subarbutivo lenhoso, ereto e pouco ramificado de até 1,5 m de altura. As folhas, muito aromáticas, medem de 1,5 a 4 cm de comprimento por 1 a 3 mm de espessura (MACHADO, RIBEIRO & DRUZIAN, 2013).

*Origanum vulgare* é uma especiaria originada do Mediterrâneo, pertencente a família Lamiaceae, com sabor e aromas característicos, com principal aplicação feita na indústria alimentícia através de aromatizantes para produtos denominados tipo pizza. O composto utilizado para este fim é o óleo essencial de orégano, alvo de avaliações quanto às suas propriedades biológicas, devido aos seus potenciais antioxidantes, antimicrobianos (PORTO, 2018).

Desta forma, o presente estudo teve por objetivo determinar o conteúdo fenólico total, a toxicidade frente a *Artemia salina* Leach e atividade antibacteriana in vitro dos óleos essenciais de *Origanum vulgare*, *Pimpinella anisum* L. e *Rosmarinus officinalis* frente às bactérias de importância clínica e alimentar.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### COLETA DO MATERIAL VEGETAL

Foram obtidas folhas de *Pimpinella anisum* (erva-doce), folhas de *Origanum vulgare* (orégano) e folhas de *Rosmarinus officinalis* (alecrim) na forma desidratada (Produtos Naturais Muniz LTDA), no município de São Luís (MA), sendo transportadas para o Laboratório de Pesquisa e Aplicação de Óleos Essenciais da Universidade Federal do Maranhão (LOEPAV/UFMA).





**Figura 1.** Folhas de *Pimpinella anisum* (a), folhas de *Origanum vulgare* (b) e folhas de *Rosmarinus officinalis* (c)



Fonte: Autores (2021)

## OBTENÇÃO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Para extração dos óleos essenciais, utilizou-se a técnica de hidrodestilação com um extrator de Clevenger de vidro acoplado a um balão de fundo redondo acondicionado em manta elétrica como fonte geradora de calor. Foram utilizadas 30g das folhas de *O. vulgare*, 80g das folhas de *P. anisum*, 30g das folhas e *R. officinalis*, adicionando-se água destilada (1:10). A hidrodestilação foi conduzida a 100°C por 3h recolhendo-se o óleo essencial extraído (Figura 2). Cada óleo essencial foi seco por percolação com sulfato de sódio anidro ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) e armazenado em refrigeração até posteriores análises.

**Figura 2.** Óleo essencial obtido após 3h de extração pelo método de hidrodestilação.



Fonte: Autores (2021)

## QUANTIFICAÇÃO DE FENÓLICOS TOTAIS

A determinação dos compostos fenólicos totais do óleo essencial foi realizada com adaptação do método de Folin-Ciocalteu (WATERHOUSE, 2002). Utilizou-se 5 mL do óleo



essencial diluído em 1 mL de etanol. A esta solução foi adicionada 3 mL de água destilada, 500  $\mu\text{L}$  do reagente Folin-Ciocalteu e 2,0 mL de carbonato de sódio a 20%. A solução formada foi levada ao banho-maria a 50 °C por 5 min, retirada e deixada para esfriar; e, então, foi realizada a leitura em espectrofotômetro manual, em comprimento de 760 nm. A curva padrão foi expressa em  $\text{mg L}^{-1}$  de ácido tânico.

## TOXICIDADE

Para a avaliação da letalidade de *Artemia salina* Leach, foi preparada uma solução salina estoque de cada óleo essencial na concentração de 10.000  $\text{mg L}^{-1}$  e 0,02 mg de Tween 80 (tenso ativo). Alíquotas de 5, 50 e 500  $\mu\text{L}$  desta foram transferidas para tubos de ensaio e completados com solução salina já preparadas anteriormente até 5 mL, obtendo-se no final concentrações de 10, 100 e 1000  $\text{mg L}^{-1}$ , respectivamente. Todos os ensaios foram realizados em triplicatas, onde dez larvas na fase náuplio foram transferidas para cada um dos tubos de ensaio. Para o controle do branco utilizou-se 5 mL da solução salina, para o controle positivo  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  e para o controle negativo 5 mL de uma solução 4  $\text{mg L}^{-1}$  de Tween 80. Após 24 horas de exposição, realizou-se a contagem das larvas vivas, considerando-se mortas aquelas que não se movimentaram durante a observação e nem com a leve agitação do frasco. Adotou-se o critério estabelecido por Dolabela (1997).

## PADRONIZAÇÃO DO INÓCULO MICROBIANO PARA ENSAIOS DE SENSIBILIDADE

Foram utilizadas quatro cepas de bactérias: *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Salmonella sp.* (ATCC 700623), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) e *Bacillus cereus* (ATCC 11778). Estas foram previamente identificadas e confirmadas pelas provas bioquímicas. Culturas microbianas puras mantidas em ágar TSA foram repicadas para caldo de infusão de cérebro e coração (BHI) e incubadas a 35 °C até atingirem fase exponencial de crescimento (4-6 h). Após esse período, as culturas tiveram sua densidade celular ajustada em solução salina 0,85% estéril, de modo a se obter uma turbidez comparável à da solução padrão de McFarland 0,5, o que resulta em uma suspensão microbiana contendo aproximadamente  $1,5 \times 10^8$  UFC  $\text{mL}^{-1}$  de acordo com as normas do Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2015).

## MÉTODO DE DIFUSÃO DE DISCO (MDD)

A técnica de difusão de disco foi realizada segundo Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2015) que padroniza os testes de sensibilidade de antimicrobianos por disco-difusão. Primeiro foram preparadas as placas com o meio de cultura Ágar Mueller Hinton



(AMH) após sua solidificação foi distribuído à suspensão microbiana na superfície do ágar e deixado em repouso à temperatura ambiente por 30 min. Logo após são preparados os discos contendo 50  $\mu\text{L}$  dos óleos essenciais e os discos com concentrações definidas dos antibióticos. Utilizando-se pinça esterilizada, os discos foram distribuídos sobre a superfície do ágar. As placas foram incubadas em estufa bacteriológica a 35 °C por 24 horas. Os diâmetros dos halos de inibição foram mensurados, incluindo o diâmetro do disco. Esses ensaios foram feitos em triplicata. Os valores dos halos de inibição foram as médias das medidas dos três resultados. Ensaios realizados em triplicata.

### **CONCENTRAÇÃO INIBITÓRIA MÍNIMA (CIM) E CONCENTRAÇÃO BACTERICIDA MÍNIMA (CBM)**

O ensaio de Concentração Inibitória Mínima (CIM) foi realizado empregando-se a técnica de diluição em caldo, proposta pela *Clinical and Laboratory Standards Institute* (CLSI, 2015). Primeiramente foram preparadas soluções do óleo essencial utilizando-se dimetilsulfóxido (DMSO) a 2%, sendo preparadas diluições seriadas em caldo MH para o ensaio bacteriano, resultando nas concentrações de 10 a 1000  $\mu\text{g mL}^{-1}$ . A cada concentração foram adicionadas suspensão microbiana contendo  $1,5 \times 10^8$  UFC  $\text{mL}^{-1}$  das cepas *S. aureus*, *Bacillus cereus*, *E. coli* e *Salmonella sp.*. Os tubos foram incubados a 35° por 24h. Foram realizados os controles de esterilidade e crescimento para o ensaio realizado.

Após o período de incubação, foi verificada CIM dos óleos essenciais, sendo definida como a menor concentração que visivelmente inibiu o crescimento bacteriano (ausência de turvação visível). Ensaios realizados em triplicata. Para o ensaio de Concentração Bactericida Mínima (CBM) empregou-se uma alíquota de 100  $\mu\text{L}$  das diluições provenientes do caldo MH que visivelmente inibiram o crescimento microbiano. As alíquotas foram inoculadas em AMH e AMH (2% azul de metileno) com posterior incubação a 35°C por 24h. A CBM foi definida como a menor concentração que visualmente no ensaio de CIM apresentou inibição de crescimento e que nas culturas para os ensaios bactericida também não apresentaram crescimento microbiano.

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O resultado do teor total de fenólicos dos óleos essenciais está apresentado na Tabela 1. O conteúdo fenólico total foi expresso como equivalentes de ácido tânico (mg EAT / g de material vegetal) a equação da reta obtida, onde y representa a absorbância e x a concentração equivalente de ácido tânico.

**Tabela 1.** Quantificação de fenólicos totais (CFT) dos óleos essenciais

Óleo essencial	CFT mg EAT g <sup>-1</sup>	Linear	R <sup>2</sup>
<i>Pimpinella anisum</i> (erva-doce)	112,45		
<i>Origanum vulgare</i> (orégano)	96,92	$y = 0,0586 x + 0,06$	(0,9980)
<i>Rosmarinus officinalis</i> (alecrim)	74,03		

**Nota:** CFT- Conteúdo Fenólico Total; **Fonte:** Autores (2021)

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, pôde-se confirmar um quantitativo importante de compostos fenólicos variando de 74,03-112,45 mg EAT g<sup>-1</sup> nos óleos essenciais obtidos, sendo o maior resultado obtido para *P. anisum*, o que o torna de relevância já que os fenólicos são frequentemente associados a vários efeitos positivos à saúde, incluindo efeitos antioxidantes, diminuição do risco de doenças cardiovasculares, mecanismos anticâncer e propriedades anti-inflamatórias (SINGH et al., 2012). Os compostos fenólicos em alimentos vegetais têm funções curativas, preventivas em distúrbios fisiológicos em seres humanos, com isso se torna interessante determinar a quantidade de compostos fenólicos totais em ervas condimentares in natura e desidratadas (SOARES, 2020).

O quantitativo importante de fenólicos totais observado neste estudo corrobora aos dados relatados por Soares (2020) ao analisar o teor de compostos fenólicos em extratos de *O. vulgare* e *R. officinalis* in natura e desidratado, relatou altas concentrações em *O. vulgare* e *R. officinalis*, notando ainda que as ervas desidratadas possuem uma maior extração de fenólicos, em virtude de a desidratação aumenta a solubilidade havendo uma maior extração de fenólicos, reafirmando o quantitativo significativo observado neste estudo.

Ainda, Santos (2009), quantificou os compostos fenólicos de ervas pertencentes a família Lamiaceae, observando que *O. vulgare* apresentou a maior concentração de compostos fenólicos de 5,350 equivalentes de ácido gálico (EAG) por mililitro de extrato, enquanto *R. officinalis* apresentou 2,440 EAG mL<sup>-1</sup>. Zielinski (2015) observou em seu estudo um bom quantitativo de compostos fenólicos de 100,45 EAG mg L<sup>-1</sup> em *Pimpinella anisum*.

Portanto, como observado um quantitativo significativo de compostos fenólicos, enfatiza-se que estes são apontados como consideráveis bioativos, associados a diversos efeitos favoráveis à saúde, dentre outras funções, estão relacionados principalmente à atividade antioxidante em plantas (ROCHA et al., 2011). Segundo Achkar et al. (2013) a utilização de compostos fenólicos, especificamente os ácidos fenólicos, na conservação de alimentos, podem

umentar a vida útil do produto entre 15 a 200%. Desta forma, os resultados significativos obtidos nesta etapa são de extrema importância e incentivam estudos com atividades biológicas

Na Tabela 2 são apresentadas a Concentração Letal 50% (CL<sub>50</sub>) referentes a ação do óleo essencial frente a *Artemia salina* L. e sua posterior classificação segundo o critério de Dolabela (1997).

**Tabela 2.** Quantificação da CL<sub>50</sub> para ação dos óleos essenciais frente *Artemia salina* Leach e classificação de toxicidade

OE	CL <sub>50</sub> (µg mL <sup>-1</sup> )	Linear	Erro padrão
<i>Pimpinella anisum</i> (erva-doce)	293,8 (atóxico)	y= 32,129x – 37,178	0,0913
<i>Origanum vulgare</i> (orégano)	> 1000 (atóxico)	-	-
<i>Rosmarinus officinalis</i> (alecrim)	>1000 (atóxico)	y= 14,129x – 22,291	0,1891

Fonte: Autores (2021)

Conforme os resultados apresentados na Tabela 2 pode-se observar que os óleos essenciais foram classificados como atóxicos, diante disso, têm seus potenciais de aplicação incentivados. O conhecimento do potencial toxicológico das plantas é um fator importante para estipular o limite consumível. E neste ensaio de toxicidade destaca-se os óleos essenciais de *O. vulgare* e *R. officinalis*, apresentaram a CL<sub>50</sub> bastante acima do critério que é de 250 mg L<sup>-1</sup> para ser classificado como atóxico.

Resultados semelhantes são justificados por Pereira et al. (2015) ao analisarem o potencial toxicológico de plantas condimentares, constataram um baixo potencial toxicológico para o *R. officinalis* e *P. anisum* e associaram as suas atoxicidades a compostos benéficos não tóxicos em suas composições, quando consumidos dentro dos limites. Para o óleo essencial de *O. vulgare*, Santin (2013) avaliou a irritação cutânea e ocular aguda e a sensibilização cutânea com ensaios in vivo e observou que o óleo essencial a 3% causa irritação cutânea e ocular aguda leve e reversível por sete dias. Cleff et al. (2008) estudaram a toxicidade do óleo essencial de *O. vulgare* a 3% administrado diariamente por 30 dias em ratas por via oral e intravaginal e observaram que não houve alteração macroscópica no trato reprodutivo e digestório, fígado, baço e rins e não contatou também alterações nas avaliações clínicas, hematológicas.

De acordo com Bakkali et al. (2006), a atividade citotóxica dos óleos essenciais provavelmente está relacionada a lipofilicidade de seus constituintes químicos, que devido sua interação com a membrana citoplasmática atravessa a parede celular rompendo as estruturas

das diferentes camadas de polissacarídeos, ácidos graxos e fosfolipídios, atingindo vários alvos ao mesmo tempo, levando, assim, a morte celular.

Everton et al. (2020) enfatiza que muitos estudos da literatura ainda não divulgam toxicidade das plantas em estudo em um teste específico como o bioensaio frente a *Artemia salina*. O estudo da toxicidade é extremamente importante, pois fornece informações sobre a qualidade do ambiente ou parte dele, possibilitando assim mensurar qual a concentração letal de um determinado produto (Botelho et al., 2010).

Segundo Reis (2012), o bioensaio de toxicidade com *Artemia salina* traz a estimativa da concentração de uma substância através da medida de uma resposta biológica, na qual existe apenas um parâmetro envolvido: vida ou morte. Sendo este ensaio em específico, permitir a avaliação da toxicidade aguda e, portanto, é considerado essencial como bioensaio preliminar no estudo de compostos com potencial atividade biológica.

Os resultados referentes aos ensaios de disco-difusão para determinação dos halos de inibição para atividade antimicrobiana são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Diâmetro dos halos de inibição (mm) para ação dos óleos essenciais frente aos microrganismos patogênicos testados

OE	DHI - Diâmetro dos halos de inibição (mm)			
	<i>B. cereus</i>	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella sp.</i>	<i>S. aureus</i>
<i>Pimpinella anisum</i> (erva-doce)	< 9 <sup>R</sup>	< 9 <sup>R</sup>	< 9 <sup>R</sup>	< 9 <sup>R</sup>
<i>Origanum vulgare</i> (orégano)	12 <sup>S</sup>	15 <sup>S</sup>	19 <sup>S</sup>	13 <sup>S</sup>
<i>Rosmarinus officinalis</i> (alecrim)	< 9 <sup>R</sup>	NI*	< 9 <sup>R</sup>	< 9 <sup>R</sup>

**Nota:** NI\*, não ocorreu inibição do microrganismo pela ação do óleo essencial; S- Sensível; R- Resistente.

**Fonte:** Autores (2021).

Conforme observado na Tabela 3, as cepas foram classificadas como sensíveis e resistentes de acordo com Moreira et al. (2005), sendo definida de acordo com o diâmetro do halo de inibição formado, sendo classificados como resistentes quando o halo de inibição for menor que 8 mm e sensíveis para halos de 9 a 14 mm. Desta forma, somente o óleo essencial de *O. vulgare* foi classificado como ativo no controle e combate dos microrganismos patogênicos *B. cereus*, *E. coli*, *Salmonella sp.* e *S. aureus*.

Reis et al. (2020) ao analisarem os óleos essenciais de *O. vulgare*, *T. vulgare* e *R. officinalis* frente a *S. aureus*, *Salmonella sp.* e *E. coli*, relataram a maior efetividade de ação bacteriana ao óleo essencial de *O. vulgare* onde observaram o halo de inibição de 31 mm para *S. aureus*, 13 mm para *Salmonella* e 19 mm para *E. coli*. Almeida et al., (2017) ao analisarem

o extrato hidroalcolico de *P. anisum* obtiveram halo de inibição de 6 mm para *S. aureus*, 8 mm para *Salmonella* e não obtiveram halo de inibição formado para *B. cereus*.

A ação biológica observada é explicada por Carvalho (2012) que o potencial da planta se deve a presença de flavonoides, que têm a capacidade de complexar as proteínas e parede celular bacteriana, causando sua lise. Viuda-Martos et al., (2011) ressaltam que a susceptibilidade de uma bactéria a um óleo essencial é resultado das diferenças existentes na estrutura da membrana celular.

Os resultados referentes aos ensaios de Concentração Inibitória Mínima (CIM) e Concentração Bactericida Mínima (CBM) para determinação da atividade antimicrobiana são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Concentração Inibitória Mínima e Bactericida Mínima ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) dos óleos essenciais frente aos microrganismos

Óleo essencial	CIM/CBM $\mu\text{g mL}^{-1}$	<i>B. cereus</i>	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella sp.</i>	<i>S. aureus</i>
<i>P. anisum</i>	<b>CIM</b>	1000	1000	1000	1000
<b>(erva-doce)</b>	<b>CBM</b>	>1200	>1200	>1200	>1200
<i>O. vulgare</i>	<b>CIM</b>	400	200	200	400
<b>(orégano)</b>	<b>CBM</b>	600	400	400	600
<i>S. rosmarinus</i>	<b>CIM</b>	1000	1000	1000	1000
<b>(alecrim)</b>	<b>CBM</b>	>1200	>1200	>1200	>1200

**Nota:** OE, óleo essencial; CIM, Concentração Inibitória Mínima; CBM, Concentração Bactericida Mínima; NI\* não ocorreu inibição do microrganismo pela ação do óleo essencial. **Fonte:** Autores (2021)

De acordo com Aligiannis et al. (2001), a classificação da atividade antimicrobiana para espécimes vegetais, segundo os resultados da CIM, é considerada de forte inibição: CIM até  $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ ; inibição moderada: CIM entre 600 e  $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$ ; e fraca inibição: CIM acima de  $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$ . Dessa forma, de acordo com a Tabela 4, os óleos essenciais de *O. vulgare*, apresentou atividade bactericida e forte inibição, enquanto os óleos essenciais de *P. anisum* e *R. officinalis* apresentaram fraca inibição.

Estudos já relataram a ação inibitória do óleo essencial de *O. vulgare*. Cattelan (2012) em seu estudo, ao analisar atividade bacteriana óleo essencial de *O. vulgare*, *T. vulgaris* e *R. officinalis* frente a *E. coli*, *S. aureus*, *S. thyphi*, *P. aeruginosa*, *B. subtilis* e *B. cereus*, relatou que o óleo essencial de *R. officinalis* teve uma fraca ação inibitória, sendo condizente com o nosso estudo e observou que o óleo essencial de *O. vulgare* teve eficácia na inibição bacteriana e diferentemente deste estudo não observou atividade do óleo essencial frente a *B. cereus*, o



que revigora os resultados satisfatórios obtidos neste estudo, onde para *B. cereus* obtivemos uma CIM de  $400 \mu\text{g mL}^{-1}$ .

Costa Júnior et al., (2019) ao analisarem o óleo essencial de *O. vulgare* observaram a ação inibitória do óleo essencial obtendo a CIM de  $800 \mu\text{g mL}^{-1}$ . Acredita-se que os compostos responsáveis pela ação antibacteriana do óleo essencial de *O. vulgare* sejam os fenólicos. Castilho et al., (2012) observaram a ação inibitória do óleo essencial de *O. vulgare* frente a *S. aureus* e *E. coli* e ainda ressaltou que o seu amplo espectro de atividade antimicrobiana se deve a presença de derivados fenólicos, como o carvacrol e timol. Estudos relatam que os compostos fenólicos são capazes de alterar a permeabilidade da membrana plasmática e penetrar nas células bacterianas, onde interagem em mecanismos metabólicos e essa interação afeta a permeabilidade da membrana e assim, ocorre a perda do seu potencial de resistência (HYLDGAARD, 2012).

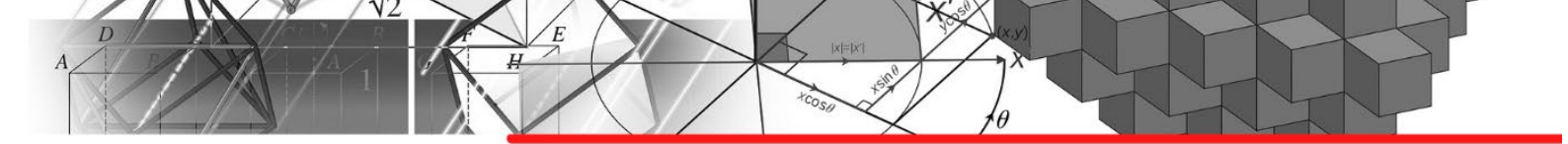
Cutrim et al. (2019) relataram fraca inibição do óleo essencial de *R. officinalis* frente as bactérias *S. aureus* e *E. coli*, obtiveram a CIM de  $1700 \mu\text{g mL}^{-1}$  para *E. coli* e  $1500 \mu\text{g mL}^{-1}$  para *S. aureus*, confirmando assim, os resultados obtidos no presente estudo. Da Silva et al. (2019) relatou em seu estudo a inatividade da ação antibactericida do extrato de *P. anisum*, no entanto, Gessinger (2013) relatou que esse óleo essencial é eficaz contra a bactéria *Micrococcus luteus*, apresentando assim, grande divergência na literatura mostrando atividade bactericida e ausência dessa atividade. Estudos recomendam modificar a metodologia utilizada para verificar os princípios ativos das plantas antes e após do processo de extração.

Hyldgaard (2012) relata que as bactérias Gram-negativas são geralmente menos suscetíveis do que as Gram-positivas, pois a membrana externa das bactérias Gram-negativas contém lipossacarídeos hidrofílicos (LPS), que criam uma barreira para macromoléculas e compostos hidrofóbicos, fornecendo bactérias Gram-negativas com maior tolerância para compostos antimicrobianos hidrofóbicos como aqueles encontrados em óleos essenciais. A literatura evidencia que a maior parte dos constituintes do óleo essencial tem vários alvos, logo, é difícil prever quão suscetível é um microrganismo e porque a suscetibilidade varia de cepa para cepa.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim, destaca-se novamente o potencial de todos os óleos essenciais deste estudo, visto que apresentaram um quantitativo importante de compostos fenólicos mostrando-se como promissores para aplicação e uso em alimentos. Além disso, todos os óleos essenciais estudados





apresentaram-se atóxicos, visto que óleos com toxicidade elevada não são recomendados para aplicações biológicas. O óleo essencial de *O. vulgare* se apresentam como promissor para a aplicação na conservação de alimentos, considerado extremamente eficiente no controle de microrganismos patogênicos, representados por *E. coli* e *Salmonella sp.* como Gram-negativas, *S. aureus* e *B. cereus* como Gram-positiva.

## REFERÊNCIAS

ACHKAR, Marina Teixeira et al. Propriedade antioxidante de compostos fenólicos: importância na dieta e na conservação de alimentos. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 11, n. 2, p. 398-406, 2013.

ALIGIANNIS, Nektarios et al. Composition and antimicrobial activity of the essential oils of two *Origanum* species. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 49, n. 9, p. 4168-4170, 2001.

ANDRADE, Milene Aparecida et al. Óleos essenciais de *Cymbopogon nardus*, *Cinnamomum zeylanicum* e *Zingiber officinale*: composição, atividades antioxidante e antibacteriana. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 399-408, 2012.

ANDRADE, Milene Aparecida et al. Chemical composition and antioxidant activity of essential oils from *Cinnamodendron dinisii* Schwacke and *Siparuna guianensis* Aublet. **Antioxidants**, v. 2, n. 4, p. 384-397, 2013.

BAKKALI, Fadil et al. Biological effects of essential oils—a review. **Food and chemical toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008.

CARNEIRO, Ana Patrícia Cavalcante. Estudo da microbiota formadora de histamina em cavala (*Scomberomorus cavalla*) e avaliação da atividade bactericida de óleos essenciais. 2018.

CARVALHO, Camilo Amaro de et al. Caracterização botânica, fitoquímica e avaliação da atividade biológica de extratos de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) JF Macbr (FABACEAE). 2012.

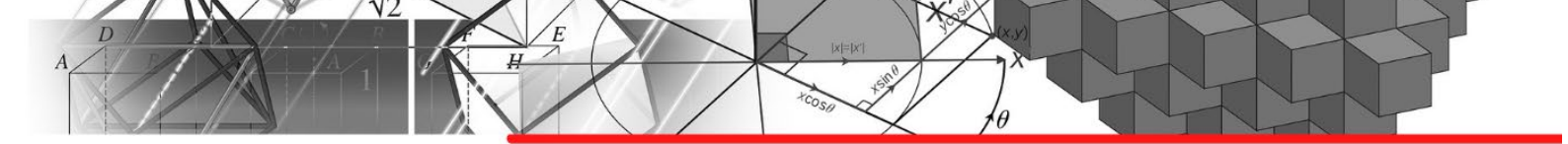
CASTILHO, Paula C. et al. Evaluation of the antimicrobial and antioxidant activities of essential oils, extracts and their main components from oregano from Madeira Island, Portugal. **Food Control**, v. 23, n. 2, p. 552-558, 2012.

CATTELAN, Marília Gonçalves. Atividade antibacteriana de óleos essenciais de especiarias em alimentos. 2012.

CLEFF, Marlete B. et al. Toxicidade pré-clínica em doses repetidas do óleo essencial do *Origanum vulgare* L. (Orégano) em ratas Wistar. **Latin Am. J. Pharm**, v. 27, p. 704-709, 2008.

Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), Performance standards for antimicrobial disk susceptibility tests, Approved Standard Eleventh Edition, 32, 2015.

COSTA JÚNIOR, Paulo Sérgio Pedroso et al. Atividade antimicrobiana de óleos essenciais de diferentes especiarias. **Hig. alim.**, p. 2697-2701, 2019.



CUTRIM, E. S. M. et al. Avaliação da atividade antimicrobiana e antioxidante dos óleos essenciais e extratos hidroalcoólicos de *Zingiber officinale* (Gengibre) e *Rosmarinus officinalis* (Alecrim). **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 1, p. 60-81, 2019.

DE ALMEIDA<sup>1</sup>, Viniccus Silva et al. Ação de diferentes extratos de algumas variedades do gênero *Capsicum* sobre o desenvolvimento bacteriano. 2017.

DOLABELA, M. F. Triagem in vitro para atividade antitumoral e anti *Trypanosoma cruzi* de extratos vegetais, produtos naturais e substâncias sintéticas. **Master's Degree dissertation, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil**, 1997.

DOS SANTOS, Rogério Aparecido Minini; MARTINS, Karla Marega. Controle de qualidade das drogas vegetais *Matricaria recutita* L., *Peumus boldus* M. e *Pimpinella anisum* L., comercializadas nas Farmácias de Maringá-PR. **Journal Of Biology & Pharmacy And Agricultural Management**, v. 15, n. 4, 2019.

EVERTON, Gustavo Oliveira et al. Caracterização química, atividade antimicrobiana e toxicidade dos óleos essenciais da *Pimenta dioica* L. e *Citrus sinensis* L. Osbeck. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e803974842-e803974842, 2020.

GESSINGER, Marina Mondadori. MODELAGEM MATEMÁTICA DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO SUPERCRÍTICA DO ÓLEO ESSENCIAL DA PIMPINELLA ANISUM L. E ESTUDO DA SUA ATIVIDADE ANTIMICROBIANA. **Revista da Graduação**, v. 6, n. 2, 2013.

HYLDGAARD, Morten; MYGIND, Tina; MEYER, Rikke Louise. Óleos essenciais na preservação de alimentos: modo de ação, sinergias e interações com componentes da matriz alimentar. **Fronteiras em microbiologia**, v. 3, p. 12, 2012.

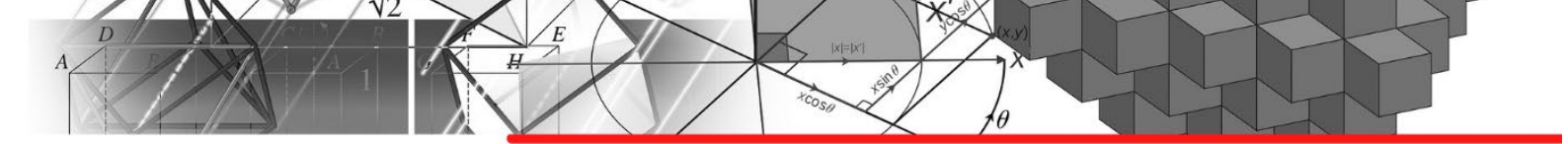
MACHADO, Bruna Aparecida Souza; RIBEIRO, Daniele Silva; DRUZIAN, Janice Izabel. Estudo prospectivo relativo à atividade antimicrobiana de algumas plantas aromáticas. **Cadernos de Prospecção**, v. 6, n. 1, p. 97, 2013.

MACHADO, T. F.; BORGES, M. F.; BRUNO, L. M. Aplicação de antimicrobianos da conservação de alimentos. **Fortaleza: EMBRAPA**, 2011. MACHADO, T. F.; BORGES, M. F.; BRUNO, L. M. Aplicação de antimicrobianos da conservação de alimentos. **Fortaleza: EMBRAPA**, 2011.

MOREIRA, M. R. et al. Inhibitory parameters of essential oils to reduce a foodborne pathogen. **LWT-Food Science and Technology**, v. 38, n. 5, p. 565-570, 2005.

PEREIRA, Emmanuel Moreira et al. Potencial toxicológico frente *Artemia Salina* em plantas condimentares comercializadas no município de Campina Grande, PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 52-56, 2015.

PORTO, Laís Lourdes; ROSA, Lillian Roberta Vieira da. **Avaliação do potencial antimicrobiano de óleos essenciais de coentro (*coriandrum sativum* L.) e orégano (*origanum vulgare* L.)**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.



REIS, Jonas Batista et al. Estudo analítico, avaliação da toxicidade e atividade moluscicida do óleo essencial *Cinnamomum zeylanicum* Blume (canela) frente ao caramujo *Biomphalaria glabrata* (Say, 1818). 2012.

REIS, Juliana Borges et al. Avaliação da atividade antimicrobiana dos óleos essenciais contra patógenos alimentares. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 1, p. 342-363, 2020.

ROCHA, Wesley Silveira et al. Compostos fenólicos totais e taninos condensados em frutas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 4, p. 1215-1221, 2011.

SANTIN, Rosema. Potencial antifúngico e toxicidade de óleos essenciais da família Lamiaceae. 2013.

SANTOS, Renata Dinnies. Compostos fenólicos de ervas lamiaceae na estabilidade oxidativa da manteiga e avaliação da toxicidade de extrato de alecrim (*Rosemarinus officinalis* L.). 2009.

SANTURIO, Deise Flores et al. Atividade antimicrobiana de óleos essenciais de condimentos frente a amostras de *Escherichia coli* isoladas de aves e bovinos. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, p. 1051-1056, 2011.

SINGH, Harminder Pal et al. Assessment of in vitro antioxidant activity of essential oil of *Eucalyptus citriodora* (lemon-scented Eucalypt; Myrtaceae) and its major constituents. **LWT-Food science and Technology**, v. 48, n. 2, p. 237-241, 2012.

SOARES, Vandeliccia Gomes et al. Teor de compostos fenólicos e análises físico-químicas em diferentes condimentos in natura e desidratado de alecrim, hortelã, manjerição e orégano. 2020.

VIUDA-MARTOS, M. et al. In vitro antioxidant and antibacterial activities of essential oils obtained from Egyptian aromatic plants. **Food Control**, v. 22, n. 11, p. 1715-1722, 2011.

WATERHOUSE, Andrew L. Determinação de fenólicos totais. **Protocolos atuais em química analítica de alimentos**, v. 6, n. 1, pág. I1. 1.1-I1. 1.8, 2002.

Zielinski, A. A. F. Avaliação dos compostos fenólicos e atividade antioxidante in vitro de chás: classificação, modelagem e otimização por técnicas quimiométricas.



# CAPÍTULO 9

## O SISTEMA DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DA MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE FONTE SOLAR NO ESTADO DO PARANÁ: DESENVOLVIMENTO E DIFUSÃO DO CONHECIMENTO.

DOI: 10.47402/ed.ep.c202176025578

**Alcides Pereira da Silva Júnior**, Mestrando, UTFPR  
**Décio Estevão do Nascimento**, Professor Doutor, UTFPR

### RESUMO

O contexto energético brasileiro passa por uma mudança estrutural sem precedentes. Com a publicação pela Agência Nacional de Energia Elétrica da Resolução Normativa 482/2012 (REN-482), criou-se um marco no setor. Os consumidores adquiriram o direito de produzir sua própria energia elétrica. Este trabalho propõe a aplicação de uma metodologia para avaliação do conhecimento produzido no sistema de geração a partir da fonte solar fotovoltaica, no estado do Paraná. O objetivo deste estudo é mapear a amplitude, a profundidade, a difusão e a combinação de conhecimento do Sistema de Inovação Tecnológica de microgeração fotovoltaica, no estado do Paraná. Para atingir o seu objetivo, é aplicada a abordagem funcional dos sistemas de inovação tecnológica, proposta por Bergek, Hekkert e Jacobsson. A pesquisa se caracteriza por ser de natureza aplicada, de abordagem predominantemente qualitativa, com a utilização de técnicas de pesquisa documentais e bibliográficas relacionadas aos temas de geração distribuída e energia solar. Os resultados apontam que este sistema paranaense de inovação tecnológica é parte importante dos esforços de pesquisa e desenvolvimento relacionadas à energia no Estado do Paraná.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geração distribuída. Energia solar. Sistema de Inovação Tecnológica (TIS).

### 1 INTRODUÇÃO

A transformação energética é a nova inquietação do setor elétrico em âmbito mundial. Esta transformação impacta toda a cadeia do setor e está baseada em três pilares conhecidos como três *drivers* ou três Ds: descarbonização, digitalização e descentralização (BENTO, 2020). Segundo esse autor, os movimentos para a redução das emissões de gases de efeito estufa buscam nas energias renováveis uma solução ambientalmente sustentável.

Esses três *drivers* compõem um irreversível processo de transição energética com dinâmicas diferentes, de acordo com contexto nacional, nível de desenvolvimento econômico, demanda de energia elétrica, fontes de recursos energéticos e, a composição da matriz elétrica em termos de participação de fontes não renováveis (CASTRO, 2019). A digitalização, para Bento (2020), não tem a sua origem no setor elétrico, mas é determinada pela evolução



tecnológica mundial que permite a conexão entre as pessoas, sistemas e o mercado. Já a descentralização, segundo esse autor, outro movimento em expansão, traduz-se no empoderamento e na autonomia do consumidor, que passa a ter papel ativo na rede, representado pela possibilidade da geração de sua própria energia (BENTO, 2020).

Em 2012, com a entrada em vigor da Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº 482/2012 (REN-482), o consumidor brasileiro passou a poder gerar sua própria energia elétrica, a partir de fontes renováveis ou da cogeração qualificada e, inclusive, a poder fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se da micro e da minigeração distribuída de energia elétrica - MMGD (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015). A micro e a minigeração distribuída são caracterizadas pela produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, e estão conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016).

Os estímulos à geração distribuída (GD) se justificam pelos potenciais benefícios ao sistema elétrico, entre eles o adiamento de investimentos em sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental e a diversificação da matriz energética (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015). De acordo com relatório da Empresa de Pesquisa Energética (2019), em seu Plano decenal de expansão de energia 2029, a modalidade de Micro e Minigeração distribuída (MMGD) cresce e se destaca, alcançado em 2019 a marca de 1 GW, superando as expectativas do setor (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2019). A fonte mais utilizada para micro e minigeração distribuída, pelos consumidores brasileiros, é a solar fotovoltaica, com 82.600 micro e mini usinas e cerca de 870 megawatts (MW) de potência instalada, seguida pela produção de centrais geradoras hidrelétricas (CGHs), com 86 usinas e 81,3 MW de potência (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2019).

Vive-se um processo contínuo e cada vez mais acentuado de busca por fontes de energia renováveis em substituição aos combustíveis fósseis, que são grandes emissores de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera (DO NASCIMENTO, 2013). Este movimento envolve o desenvolvimento e a difusão de inovações tecnológicas, como a de turbinas eólicas, células solares, biomassa, energia de ondas, entre outras (BERGEK, 2007).



Para tornar este processo menos imprevisível, Bergek, Hekkert e Jacobsson propõem uma abordagem para a identificação dos elementos estruturais deste tipo de sistema de inovação tecnológica, e do que pode ser alcançado pelo conjunto de seus processos-chave, denominados pelos autores como funções dos sistemas de inovação, que determinam sua atuação (DO NASCIMENTO, 2013). Como delimitação desta pesquisa, ela se deterá em uma das sete funções previstas na perspectiva do Sistema de Inovação Tecnológica, que diz respeito à função 1: Desenvolvimento e difusão do conhecimento, uma delimitação da pesquisa.

Neste contexto, este artigo tem como objetivo mapear a amplitude, a profundidade, a difusão e a combinação de conhecimento do Sistema de Inovação Tecnológica de Geração Distribuída e Energia Solar, no estado do Paraná, entre os anos de 2015 e 2020.

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

Esta pesquisa, de natureza aplicada, adota uma abordagem predominantemente qualitativa para o problema. Foram utilizadas essencialmente técnicas de pesquisa documentais e bibliográficas, buscando na literatura, em documentos e bancos de dados de instituições, informações relacionadas aos temas: geração distribuída, energia solar e sistemas de inovação.

Este levantamento incluiu (1) projetos relacionados ao Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Eficiência Energética da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica selecionados pelas Chamadas Públicas de P&D, e desenvolvidos com os recursos da Copel Distribuição S.A., entre os anos de 2015 e 2019. Incluiu também (2) a produção científica nos programas de pós-graduação *stricto sensu* de engenharia elétrica das universidades paranaenses. Foi feita uma pesquisa preliminar no portal Sucupira/Capes, que lista os cursos avaliados e reconhecidos por área de conhecimento, no caso Engenharias IV – Engenharia Elétrica, buscando levantar o número de alunos, dissertações, teses e artigos publicados por docentes destes programas entre os anos de 2017 e 2020. Por fim, (3) levantou-se o número de projetos iniciados, em andamento ou encerrados entre 2016 e 2020 por grupos de pesquisa paranaenses, por meio de consulta à base do CNPQ Lattes.

A coleta das informações adotou como critério a busca pelas seguintes palavras ou expressões, ideias de forma isolada ou combinadas, em títulos, resumos e palavras-chaves, descrição, ou nos objetivos dos projetos de pesquisa e na produção científica: microgeração, minigeração, geração distribuída (GD); energia solar e sistemas fotovoltaicos.

Em termos de estrutura este artigo é dividido em 4 seções, incluindo a introdução. Na segunda parte é apresentada uma revisão bibliográfica sobre o tema. Na parte 3, apresenta-se a



abordagem funcional dos sistemas de inovação tecnológica, com destaque para a Função 1 - Desenvolvimento e difusão do conhecimento, que será aplicada no mapeamento de informações sobre a geração distribuída solar no Paraná. Por fim, na parte 4, são feitas considerações finais sobre o estudo.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão discutidos os temas relacionados à Sistema de Inovação, à abordagem funcional dos Sistemas de Inovação Tecnológica, à pesquisa e desenvolvimento e, por fim, à microgeração distribuída fotovoltaica.

#### 3.1 A ABORDAGEM FUNCIONAL DOS SISTEMAS DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

Para Cassiolato (2005), um sistema de inovação é conceituado como um conjunto de instituições que contribuem para o desenvolvimento da capacidade de inovação e aprendizado de um país, região, setor ou localidade, interagindo na produção, difusão e uso destes conhecimentos. Entende-se, deste modo, que, a inovação consiste em um fenômeno sistêmico e interativo, caracterizado por diferentes tipos de cooperações (CASSIOLATO, 2005). O foco em conhecimento, aprendizado e interatividade dá sustentação à ideia de sistemas de inovação (LUNDVALL, 1992).

Uma abordagem sistêmica da inovação surge da crítica ao modelo linear que considera o investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D) como a principal fonte de possíveis inovações, assim diretamente relacionado ao conhecimento, do qual necessariamente deve surgir um novo equipamento, objeto técnico (ASHEIM, 1994). A abordagem sistêmica, ao contrário, parte do entendimento do processo de inovação baseado na criatividade humana, que se estende para além das atividades formais de P&D e inclui novas formas de produzir bens e serviços, ao invés das trocas comerciais e da acumulação de equipamentos - a inovação e o aprendizado passam a ser caracterizados como processos interativos com múltiplas origens (CASSIOLATO, 2005).

Breschi e Malerba (1997), por sua vez, destacam dois conceitos sobre sistemas de inovação: a) SI – tratando da análise das interações dos agentes que geram e difundem a inovação ressaltando o aspecto geográfico do SI utilizando como critério a delimitação da língua, cultura, instituições e políticas locais; b) Sistemas Tecnológicos (STs), definidos como uma rede de agentes interagindo em uma área econômica e industrial específica ou infraestrutura institucional particular.



Em um Sistema de Inovação Tecnológica, a perspectiva de “funções” busca conhecer as suas contribuições, positivas ou negativas, de um ou de vários de seus componentes, em seu objetivo principal, que é desenvolver, difundir e aplicar as inovações em um campo tecnológico específico (BERGEK, 2002). O conjunto de processos-chave - denominados funções, determinam o desempenho do sistema de inovação, e, por meio de um mapeamento empírico e análise dessas funções, podem ser identificadas as fraquezas do sistema (BERGEK, 2007).

A abordagem funcional dos Sistemas de Inovação Tecnológica, proposta por Bergek, Hekkert e Jacobsson (2007), apresenta um conjunto de sete funções que são aplicadas no mapeamento dos processos-chave da dinâmica do sistema de inovação (Quadro 1).

**Quadro 1** – Funções aplicadas na análise do sistema de inovação.

Função	Foco
1 - Desenvolvimento do conhecimento e difusão	relacionado com a amplitude e profundidade da base de conhecimento TIS, e com a eficiência da difusão e combinação de conhecimento no sistema.
2 - Influência na direção pretendida	combina a percepção e a conclusão de oportunidades de negócios no sistema e incentivos e/ou pressão para que isso aconteça. Também engloba mecanismos que influenciam as "direções" de pesquisa dentro do TIS em termos de tecnologias concorrentes, aplicações, mercados, modelos de negócios, etc.
3 - Experimentação empreendedora	relacionada à forma como o Sistema de Inovação Tecnológica converte o "potencial de novos conhecimentos, redes e mercados em ações concretas para gerar, perceber e aproveitar novas oportunidades de negócios".
4 - Formação de mercado	envolve, entre outras coisas, a identificação de atores empresariais (ou formuladores de políticas) de segmentos de mercado ("nichos") em que as vantagens da nova tecnologia são mais valorizadas do que suas desvantagens (por exemplo, em termos de custo).
5 - Mobilização de recursos	relacionada à capacidade do TIS de mobilizar capital e ativos complementares. Em relação ao capital, incluiria tanto o ser humano, por meio da educação científica e tecnológica, empreendedorismo e gestão, quanto financeiro.
6 – Legitimação	relacionado ao princípio de que a legitimidade tanto da tecnologia quanto de seus proponentes é uma condição para a mobilização de recursos, criando a demanda tecnológica e permitindo que os atores do TIS capitalizem bastante força política.
7 - Desenvolvimento de externalidades positivas	o desenvolvimento de externalidades positivas ou "utilidades livres", essenciais para a formação de <i>clusters</i> .

**Fonte:** Adaptado de Do Nascimento (2013).

A Função 1, de acordo com Bergek, Hekkert e Jacobsson (2007), está intimamente relacionada ao conceito de aprendizado que tem como pré-condição a difusão do conhecimento que ocorre por meio de várias redes. A Função 1 se ocupa assim da amplitude e profundidade da base de conhecimento do TIS, e como esse conhecimento é difundido e combinado no sistema (BERGEK; HEKKERT; JACOBSSON, 2007). As fontes de desenvolvimento do





conhecimento incluem P&D e atividades que possibilitem o aprendizado (BERGEK; HEKKERT; JACOBSSON, 2007). Enfim, essa primeira função é considerada um dos processos-chave e normalmente colocada no centro de um Sistema de Inovação Tecnológica (BERGEK; HEKKERT; JACOBSSON, 2007).

### 3.2 MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA

Os incentivos à PD&I no setor elétrico brasileiro tem como marco inicial a publicação da Lei nº 9.991/2000 que estabeleceu o investimento compulsório na pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2015). O programa de P&D da Aneel é um mecanismo que obriga as concessionárias de serviços públicos de distribuição, transmissão ou geração de energia elétrica a aplicarem, anualmente, um percentual mínimo de sua receita operacional líquida em projetos de P&D no setor elétrico (FERREIRA, 2017). O objetivo desse programa de P&D (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2021):

é alocar adequadamente recursos humanos e financeiros em projetos que demonstrem a originalidade, aplicabilidade, relevância e a viabilidade econômica de produtos e serviços, nos processos e usos finais de energia. Busca-se promover a cultura da inovação, estimulando a pesquisa e desenvolvimento no setor elétrico brasileiro, criando novos equipamentos e aprimorando a prestação de serviços que contribuam para a segurança do fornecimento de energia elétrica, a modicidade tarifária, a diminuição do impacto ambiental do setor e da dependência tecnológica do país.

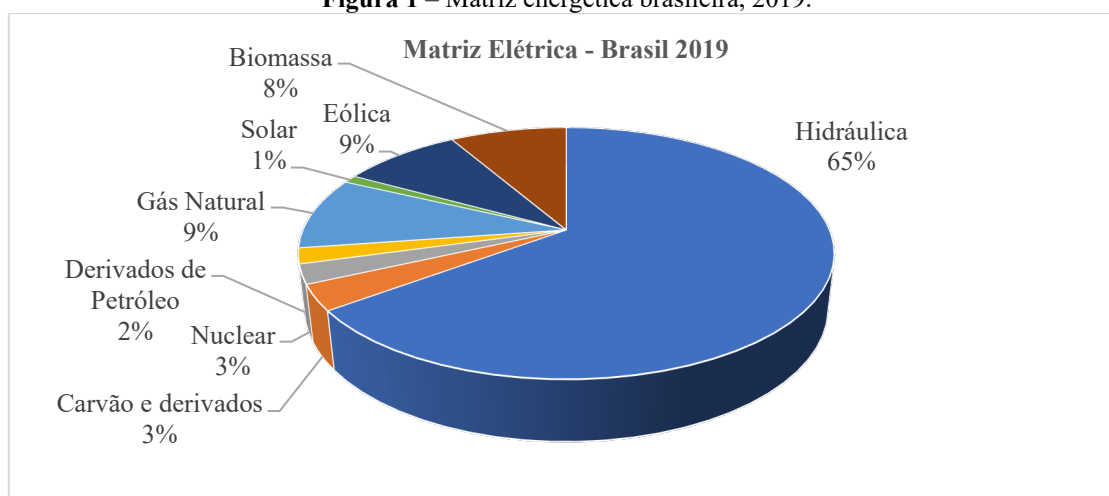
De acordo com Tiepolo (2015), os primeiros estudos sobre energia solar no Brasil remontam à década de 50, se intensificando na década de 70 em função da crise do petróleo. Neste período ocorreram importantes avanços nesta área, que culminaram com a instalação de 20 estações denominadas Rede Solarimétrica Nacional, destas, duas estações foram implantadas no Paraná: uma em Curitiba e outra em Foz do Iguaçu (TIEPOLO, 2015).

O lançamento da Resolução Normativa nº 482/2012 (REN 482) regulamentou a conexão de micro e mini geradores de energia elétrica à rede de distribuição (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2018), e impulsionou esta fonte de energia renovável através de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede – SFVCR, e destes milhares de sistemas instalados no Brasil, 10% estão no estado Paraná (TIEPOLO, 2017).

A geração fotovoltaica de energia elétrica tem um grande potencial no Brasil, considerando-se os níveis de radiação solar do país (PEREIRA, 2006). Apesar disso, a participação deste tipo de energia na matriz elétrica nacional é pequena (MERCEDES, 2015), não tem a mesma representatividade na matriz energética, e relevância do que se percebe em outros países, também não tem o mesmo nível de desenvolvimento como de outras fontes

renováveis, como a eólica e biomassa (NASCIMENTO, 2017), conforme demonstrado na Figura 1.

**Figura 1 – Matriz energética brasileira, 2019.**



**Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2020, p. 35).**

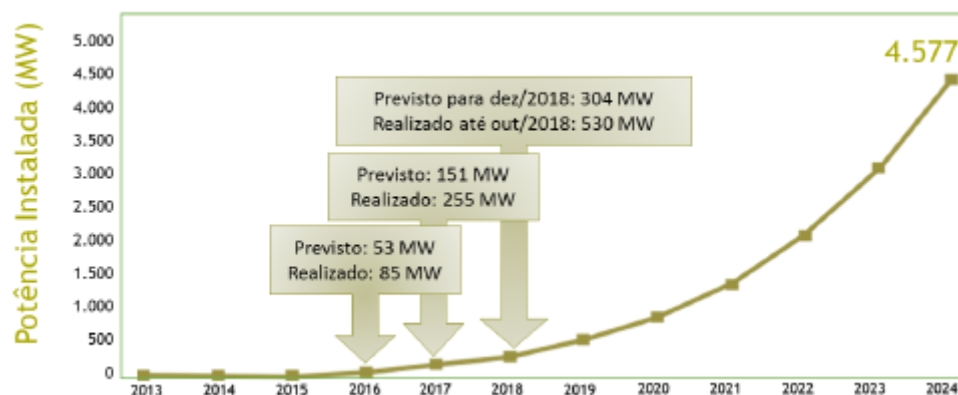
Segundo Costa (2014), a matriz de energia elétrica brasileira é predominantemente composta por energias renováveis, sendo destaque a hidroeletricidade, que representam 65% da capacidade instalada brasileira. Ainda dentro das renováveis, de acordo com esse autor, destacam-se as centrais de geração eólica (EOL) com 9% e a Biomassa com 8%. A fonte solar fotovoltaica alcança um ponto percentual no gráfico, sendo a maior parte da sua potência instalada advinda de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) (COSTA, 2014). Entretanto, tratando-se de Geração Distribuída, desde a implementação da (REN-482) a fonte que se mostrou mais apta à expansão no mercado brasileiro é a solar fotovoltaica. Seus sistemas fotovoltaicos possuem instalação de baixa complexidade técnica e uma oferta crescente de equipamentos no Brasil e no mundo de forma geral (COSTA, 2015).

Os consumidores/geradores residenciais (microgeração) representam a maior parte do mercado – mais de 147 mil unidades consumidoras, cerca de 70%, gerando energia localmente, demanda responsável também pela interiorização da geração distribuída, para cidades com menos de 50 mil habitantes (GAUDARE, 2020) Em quantidade de projetos, os maiores mercados estão em Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul, que crescem constantemente desde 2014. No ano 2019, o Paraná assumiu a 4ª posição, ultrapassando Santa Catarina (GAUDARDE, 2020).

Em termos de potência instalada, a evolução da micro e minigeração tem se dado em patamares superiores aos projetados (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA,

2018). Verifica-se (Figura 2) que os 500 MW de potência instalada esperados para o final de 2019 foram atingidos mais de um ano antes da data esperada.

**Figura 2** – Evolução da potência instalada – micro e minigeração.



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2018, p. 9).

A proposta da Aneel de reduzir descontos aplicados no cálculo dos créditos aos que os consumidores têm direito, ao injetar a energia na rede de distribuição provocou uma corrida por novas conexões, observado em 2019 (GAUDARDE, 2020). Já a ANEEL vê neste crescimento considerável a necessidade de reavaliar e modificar a norma de modo a permitir que a GD se desenvolva de maneira sustentável, com equilíbrio entre os agentes setoriais envolvidos (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2018).

#### 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O potencial fotovoltaico no território paranaense foi avaliado pelo viés da produção de conhecimento nas instituições locais, isto por meio de indicadores formulados a partir da abordagem funcional dos sistemas de inovação tecnológica proposta por Bergek, Hekkert e Jacobsson.

Dada a importância do P&D para a mudança tecnológica e o desempenho econômico, este estudo buscou por meio da análise da relação dos projetos executados no período de 2015 a 2019 a mensuração da produção de conhecimento e a sua difusão sobre a microgeração distribuída solar. Foram levantados também dados de produção científica paranaense, baseada em artigos publicados em periódicos, dos cursos de pós-graduação *stricto sensu*, de mestrado profissional, mestrado acadêmico e doutorado em Engenharia Elétrica no estado do Paraná, extraídos da base cursos avaliados e reconhecidos pela CAPES, a partir da plataforma Sucupira/CAPES. Também foram considerados os projetos elaborados pelos grupos de pesquisa do estado do Paraná, relacionados a pesquisa em energia solar, a partir da consulta à base do Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil - CNPQ Plataforma Lattes.

#### 4.1 P&D REGULADO PELA ANEEL – COPEL DISTRIBUIÇÃO S.A.

Os projetos de P&D ANEEL são selecionados por meio das chamadas públicas, com o objetivo de tornar transparente e democrático o processo decisório na escolha de parcerias para execução dos Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2020). Para esta pesquisa, no âmbito do estado do Paraná, foram elencados os projetos selecionados pela Copel Distribuição S.A. nos anos de 2015 a 2019, através do programa de P&D regulamentado pela ANEEL, com o foco no conhecimento produzido e difundido no sistema de inovação tecnológica da micro/mini geração solar fotovoltaica paranaense.

O resultado deste levantamento está resumido no Quadro 2.

**Quadro 2** – Resumo de projetos P&D ANEEL/Copel DIS.

INVESTIMENTO P&D ANEEL/COPEL DISTRIBUIÇÃO				
Ano início	Nº Projetos	Investimento (R\$)	Projetos MGDS	Investimentos R\$
2015	3	R\$2.256.692,11	0	R\$ -
2016	9	R\$5.147.205,04	5	R\$2.725.171,99
2017	8	R\$15.340.278,36	3	R\$6.499.395,48
2018	3	R\$4.489.184,06	2	R\$2.812.483,08
2019	13	R\$2.180.905,68	1	R\$250.842,40
<b>Total</b>	<b>36</b>	<b>R\$29.414.265,25</b>	<b>11</b>	<b>R\$12.287.892,95</b>

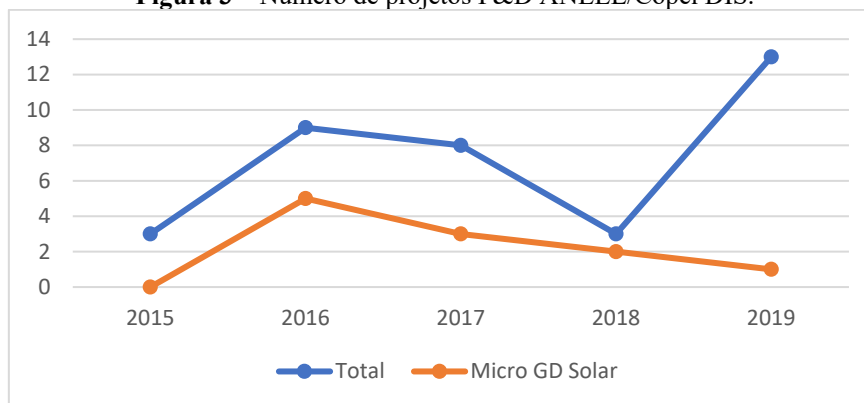
Fonte: Autoria própria (2021).

Os projetos relacionados à micro/minigeração distribuída solar financiados entre 2015 e 2019 pelo programa de P&D ANEEL/COPEL DIS foram executadas em parceria com as seguintes entidades e universidades: LATEC - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento; FPTI - Fundação Parque Tecnológico Itaipu; ITAI - Instituto de Tecnologia Aplicada e Inovação; CPQD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações; FDTE – Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia; FUNAPE – Fundação de Apoio a Pesquisa – UFG: Universidade Federal de Goiás. UTFPR – Universidade Federal do Paraná; UFPR – Universidade Federal do Paraná; UEM – Universidade Estadual de Maringá; UFSM – Universidade Federal de Santa Maria e USP – Universidade de São Paulo.

Para medir o desempenho da pesquisa e o desenvolvimento em projetos de micro/mini geração distribuída solar (MGDS) os seguintes indicadores são propostos:

- a) A participação de projetos relacionados ao tema de micro/mini geração distribuída de fonte solar (MGDS) e o total de números de projetos no período. A sua evolução é apresentada na Figura 3.

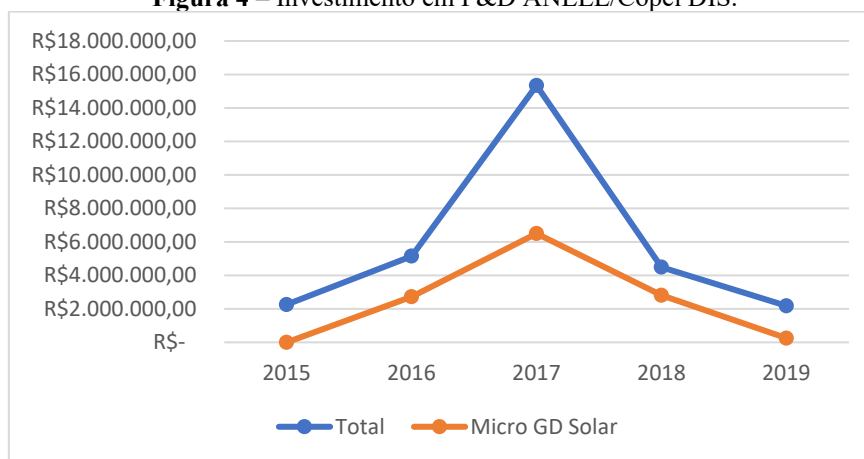
**Figura 3 – Número de projetos P&D ANEEL/Copel DIS.**



Fonte: Autoria própria (2021).

- b) O investimento total em P&D no intervalo avaliado, em relação aos valores investidos em P&D à MGDS (Figura 4).

**Figura 4 – Investimento em P&D ANEEL/Copel DIS.**



Fonte: Autoria própria (2021).

Em 2015 não houve aporte de recursos da Copel Distribuição para projeto de P&D em energia solar. No ano de 2016 a maior parte do valor destinado à P&D foi investido em projetos com tema de energia solar ou geração distribuída. A Copel DIS em 2017 investiu R\$ 15.3 milhões em projetos de Pesquisa & Desenvolvimento, sendo R\$ 6.4 milhões na área de geração distribuída solar. No ano de 2018 os investimentos voltaram ao patamar de 2016. Em 2019 os valores totais destinados a P&D voltaram ao patamar do ano de 2015, com apenas um projeto selecionado com tema de energia solar ou geração distribuída.

A última Chamada Pública de P&D Copel Distribuição 03/2020 reúne 11 áreas de interesse com 16 linhas de pesquisa que buscam atender demandas internas dos negócios da Companhia, através de temas como: inteligência operacional, conectividade entre equipes de campo, redução de custos, segurança do trabalho, transformação digital, cibersegurança, novas tecnologias de cabos, *smart grid* e inteligência artificial. Dentre as linhas de pesquisa do edital



P&D Copel Distribuição está Linha de Pesquisa 14: Recursos energéticos distribuídos. (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2021).

A Copel DIS demonstra assim manter, desde o ano 2016, o interesse em financiar projetos de energia solar e geração distribuída, e que tais temas fazem parte da sua visão estratégica de negócios, o que pode favorecer *startups*, consumidores e demais atores deste sistema de inovação tecnológica.

## 4.2 PRODUÇÃO ACADÊMICA CIENTÍFICA NA PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU E EM GRUPOS DE PESQUISAS PARANAENSES COM O TEMA ENERGIA SOLAR

Nesta subseção serão apresentados os resultados da produção científica decorrentes das pesquisas realizadas no âmbito dos programas de pós-graduação de universidades paranaenses, vinculados à área da Engenharia Elétrica, e dos projetos desenvolvidos pelos grupos de pesquisa na área dessas mesmas universidades,

### 4.2.1 PRODUÇÃO ACADÊMICA CIENTÍFICA NA PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM CURSOS DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Este estudo mediu a produção acadêmica científica, considerando o total de dissertações, teses e artigos dos cursos de pós-graduação *stricto sensu*, em Engenharia Elétrica, nas Universidades Paranaenses entre os anos de 2017 e 2020. Foram identificados o número de alunos e docentes vinculados aos programas dos cursos de engenharia elétrica, e participação destes com temas conexos à microgeração distribuída solar - MGDS. O levantamento da produção acadêmica científica, nos cursos de pós-graduação *stricto sensu* de Engenharia Elétrica, deu-se junto aos cursos avaliados e reconhecidos pela Capes, conforme a base da plataforma Sucupira/CAPES, apresentada no Quadro 3.

**Quadro 3** – Cursos avaliados e reconhecidos na área de conhecimento Engenharias IV – Engenharia Elétrica.

Nome da IES	Total de Programas de pós-graduação							Totais de Cursos de pós-graduação				
	Total	ME	DO	MP	DP	ME/DO	MP/DP	Total	ME	DO	MP	DP
Universidade Estadual de Londrina - UEL	2	1	1	0	0	0	0	2	1	1	0	0
Universidade Est. do Oeste do Paraná - UNIOESTE	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Universidade Federal do Paraná - UFPR	1	0	0	0	0	1	0	2	1	1	0	0
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR	5	3	0	1	0	1	0	6	4	1	1	0
<b>Totais</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>



ME: Mestrado Acadêmico  
 DO: Doutorado Acadêmico  
 MP: Mestrado Profissional  
 DP: Doutorado Profissional  
 ME/DO: Mestrado Acadêmico e Doutorado Acadêmico  
 MP/DP: Mestrado Profissional e Doutorado Profissional

Fonte: Capes (2020).

No Quadro 4 são apresentados os dados do levantamento de alunos, docentes, e programas de pesquisa Programas de pós-graduação *stricto sensu* em Engenharia Elétrica existentes nas Universidades Paranaenses, obtidos a partir do levantamento feitos nos bancos de dados disponibilizados nos sites dos programas e das universidades. Essas informações foram tabuladas da seguinte forma:

- (a) total dos pesquisadores (número e o nome) vinculados aos programas dos cursos de pós-graduação *stricto sensu* dos cursos de Engenharia Elétricas das universidades paranaense, e o número de pesquisadores relacionados às seguintes linhas de pesquisa dedicadas a pesquisa em energia: (1) Sistema de Energia; (2) Sistemas de Potência; (3) Processamento de energia; (4) Sistemas elétricos de potência; e (5) Fontes renováveis e racionalização de energia na agroindústria e agricultura. Em consulta ao Currículo Lattes, foi verificada a produção científica, de cada pesquisador entre os anos de 2017 à 2020, total e aquelas dedicadas aos temas de micro/mini geração, geração distribuída (GD) e energia solar fotovoltaica.
- (b) número total de discente e, destes os participantes dos programas/linhas relacionadas ao estudo de energias. Seus trabalhos de conclusão de curso – dissertações e teses, foram levantados a partir da base de dados dos sites dos cursos e Universidades.

**Quadro 4** – Resumo dos Programas de pós-graduação *stricto sensu* em Engenharia Elétrica em Universidades Paranaenses.

Universidade	Programas EE	(a)				(b)					
		Pesquisadores	Artigos	Pesquisadores MGDS	Artigos MGDS	Alunos	Dissertações	Teses	Alunos MGDS	Dissertações MGDS	Teses MGDS
UFPR - ME/DO	PPGEE	22	61	7	15	32	24	8	5	4	1
UTFPR - ME/DO	PPGEE - CP	9	117	9	21	22	5	17	3	0	3
UTFPR - ME	PPGEE - PB	11	67	11	5	42	42	-	10	10	-
UTFPR - ME	PPGEE - PG	10	148	10	0	37	37	-	2	2	-
UTFPR - ME/MP	PPGSE - CTBA	12	66	12	28	42	42	-	14	14	-
UEL - ME/DO	PPGEE	9	98	9	1	34	28	6	2	2	0
UNIOESTE - ME	PPGEA CVEL	16	516	16	40	46	102	-	12	15	-

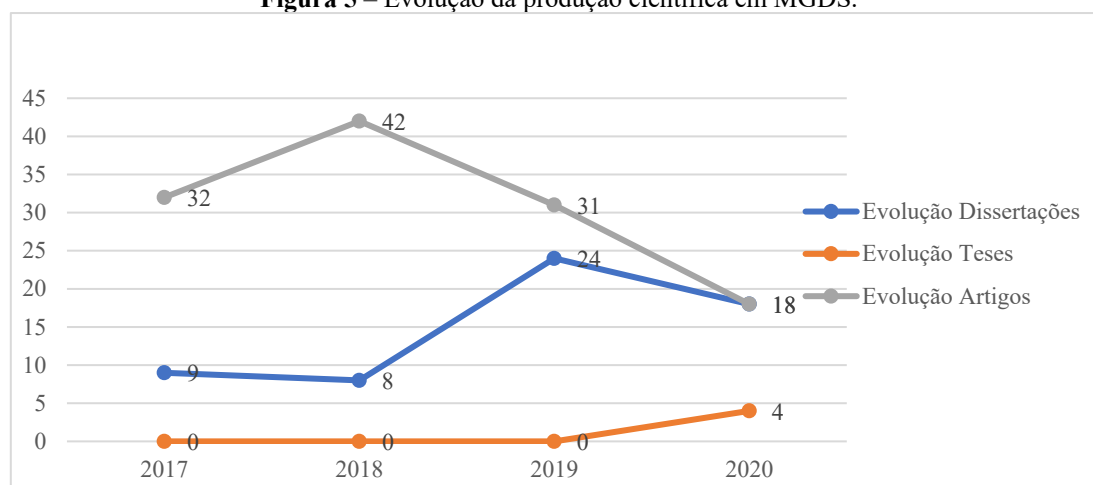
Fonte: Autoria própria (2021).

Os indicadores para a análise da produção em MGDS neste estudo são:



a) Produção de conhecimento no tema MGDS (Figura 5).

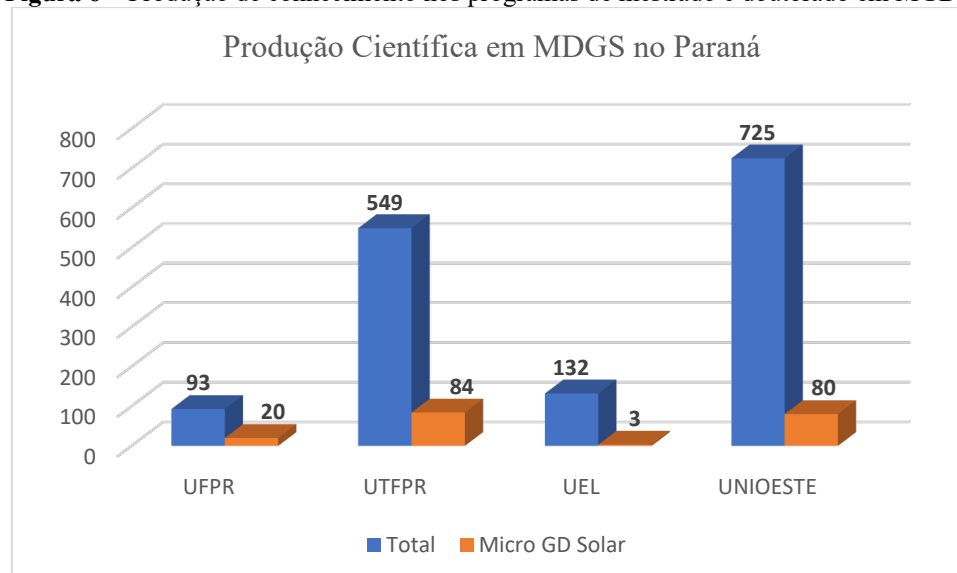
**Figura 5** – Evolução da produção científica em MGDS.



Fonte: Autoria própria (2021)

b) Produção científica por Universidade (Figura 6).

**Figura 6** – Produção de conhecimento nos programas de mestrado e doutorado em MGDS.



Fonte: Autoria própria (2021).

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR e a Universidade Estadual do Oeste - Unioeste são as instituições que mais produziram trabalhos acadêmicos sobre temas relacionados à micro e mini geração distribuídas de fonte solar (MGDS). Entretanto, a UTFPR se destaca como a Universidade com maior participação, considerando o número de pessoas envolvidas em pesquisas sobre o tema. A UTFPR possui 4 dos 7 programas do estado dedicados à pesquisa energética e a maior parte dos pesquisadores do estado, dedicados ao tema, estão vinculados a algum dos programas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, assim como a maior parte - 60% dos discentes são ligados aos seus programas. Aproximadamente 40% da produção de artigos, e mais de 50% das teses e dissertações produzidos no estado neste





período, sobre geração distribuída e energia solar são oriundas dos programas de pesquisa da UTFPR.

#### 4.2.2 PRODUÇÃO DOS GRUPOS DE PESQUISAS PARANAENSES COM O TEMA ENERGIA SOLAR

Buscou-se ainda informações da produção dos grupos de pesquisa do estado do Paraná relacionados à energia solar, por meio de consulta parametrizada na base de grupos e linhas de pesquisa do CNPQ Lattes.

O levantamento dos grupos de pesquisa, feito a partir de uma consulta parametrizada à base corrente dos grupos e linhas de pesquisa do estado do Paraná relacionados à energia solar, considerou projetos iniciados, em andamento ou encerrados entre 2016 e 2020, com base em verificação do Currículo Lattes dos líderes e vice-líderes dos grupos de pesquisa. O número de alunos e pesquisadores dos grupos foi levantado no espelho dos grupos, no próprio diretório dos grupos de pesquisa – CNPQ.

O Quadro 5 apresenta esses dados – grupos, número de linhas de pesquisa, alunos, pesquisadores e projetos de pesquisa do período:

**Quadro 5** – Grupos de pesquisa paranaenses relacionados à MGDS.

IEL	Grupo de Pesquisa	Linhas de Pesquisa	Alunos	Pesquisadores	Projetos Outros	Projetos MGDS
UEL	2	2	6	5	8	2
UEM	1	1	0	1	4	0
UENP	1	1	2	3	10	1
UFPR	1	1	0	4	5	1
UNILA	3	3	9	18	34	3
UNIOESTE	1	1	0	6	1	3
UTFPR	9	12	48	51	33	20
<b>Total Geral</b>	<b>18</b>	<b>21</b>	<b>65</b>	<b>88</b>	<b>95</b>	<b>30</b>

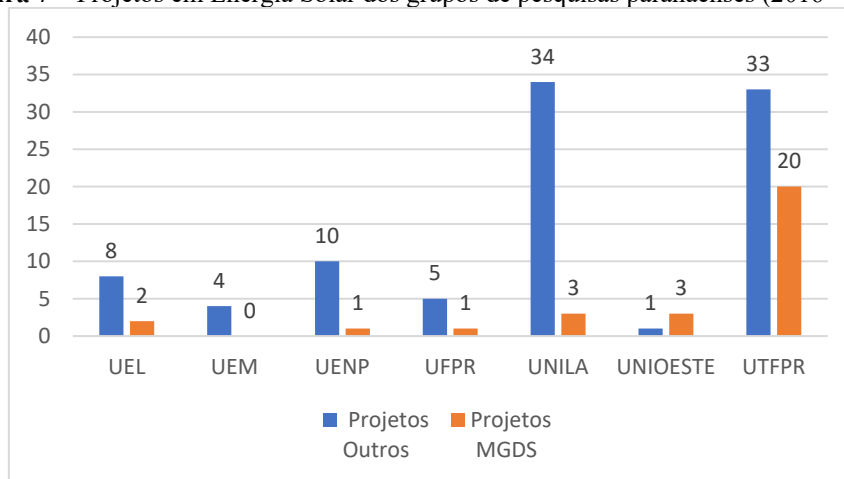
Fonte: Autoria própria (2021).

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR tem o maior foco em pesquisas em energia solar. 50% dos grupos paranaenses de pesquisa relacionados a esta área estão na instituição, que tem ainda o maior número de linhas de pesquisas, alunos e pesquisadores dedicados ao tema.

Para a análise dos projetos dos grupos de pesquisas foi definida como indicador a relação entre o total de projetos e os projetos de micro e mini geração distribuída de fonte solar realizados e em andamento no período (Figura 7)



**Figura 7** – Projetos em Energia Solar dos grupos de pesquisas paranaenses (2016 – 2020)



Fonte: Autoria própria (2021).

Dentre os 30 projetos de pesquisa e desenvolvimento relacionados aos temas de geração distribuída e/ou energia solar, 20 estão desenvolvidos na UTFPR. Ainda, deste total de projetos, 6 estão relacionados especificamente à micro geração distribuída de energia solar fotovoltaica, todos estes pertencentes a grupos de pesquisa da Universidade Tecnológica do Paraná (Quadro 6).

**Quadro 6** – Projetos em MGDS

Projeto em MGDS	Grupo de Pesquisa	Linhas de Pesquisa
Desenvolvimento de conversores de estágio único para gerador eólico em um sistema de coeração híbrido para microgeração	Grupo de Eletrônica de Potência	Energias Renováveis
Aplicação de condicionadores ativos de potência em sistemas de geração distribuída e microrredes	Grupo de Estudo e Pesquisa em Eletrônica de Potência	Energia Solar
Geração Distribuída com Armazenamento de Energia Integrado a um UPQC Híbrido em Microrredes CA e CC	Grupo de Pesquisas em Engenharia Elétrica - GPEE	Eletrônica de potência, qualidade de energia, fontes renováveis e alternativas
Microrrede baseada em fontes renováveis de energia: Uma proposta de controle e gerenciamento eletrônico da oferta e demanda de energia	Grupo de processamento eletrônico de fontes alternativas de energia	Geração Distribuída e Microrredes de Energia Elétrica
Gerenciamento e integração de fontes alternativas de energia em microrredes		
Sistema de Interconexão de Geradores Distribuídos em Redes de Distribuição: Síntese de Micro Grids		

Fonte: Autoria própria (2021).

Nos demais projetos de pesquisa (95), não ligados à energia solar, cujos participantes são os mesmos líderes e vice-líderes de projetos em energia solar, destacam-se os seguintes temas: eficiência energética, novas tecnologias, biodiesel, biomassa, e biogás, impacto ambiental, nanotecnologia, sistemas elétricos e pesquisa em energias renováveis.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta pesquisa foi apresentar uma análise inicial sobre o potencial para produção de conhecimento e sua difusão no sistema de inovação tecnológica (TIS) da microgeração distribuída solar (MGDS) no estado do Paraná.

Com o advento da Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº 482/2012, o consumidor brasileiro passou a poder gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e isto impulsionou a micro e a minigeração distribuídas de energia elétrica (MMGD), das quais se destaca a de fonte solar.

Pode-se deduzir que este marco regulatório incentivou projetos de pesquisa e o desenvolvimento de novos produtos, tecnologias e soluções para o novo mercado de energia. Do mesmo modo, a novidade impulsionou pesquisas científicas e a produção de conhecimento, como observado neste estudo que se baseou nas informações da empresa estadual de energia elétrica (Copel DIS), e nas universidades paranaenses. A partir dos números levantados no estado observa-se o grande potencial existente para geração de conhecimento em energia solar. O interesse no tema é demonstrado por uma crescente incidência e relevância no que se refere a pesquisas e investimentos em projetos a partir de 2016 e até 2018, Mesmo após esse período até 2020, com uma redução dos números, o interesse na geração distribuída de energia solar continua sendo importante, demonstrando o potencial deste Sistema de Inovação Tecnológica no estado.

Esta abordagem é apenas uma parte para uma completa análise do potencial de um sistema de inovação, e novos estudos poderiam ser feitos, voltados às demais funções do modelo proposto por Bergek, Hekkert e Jacobsson, relacionadas aos processos-chave deste Sistema de Inovação Tecnológica do Estado do Paraná.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2015. **Sugestões de aprimoramento ao modelo de fomento à PD&I do setor elétrico brasileiro**: Programa de P&D regulado pela ANEEL, Brasília – DF. Centro de gestão e estudos estratégicos, 2015. Disponível em:<<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>> Acesso em 03 fev. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2016. **Cadernos Temáticos ANEEL Micro e Minigeração Distribuída Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 2ª Edição, Brasília. Disponível em:<<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Mi>>



nigera% C3%A7%C3%A3o+Distribuida++2+educacao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>. Acesso em: 23 jan. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2018. **Relatório de AIR nº 0004/2018-SRD/SCG/SMA/ANEEL, de 06/12/2018. Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída – Resolução Normativa nº 482/2012.** Disponível em:<<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/18485189/6+Modelo+de+AIR+-+SRD+-+Gera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida.pdf/769daa1c-51af-65e8-e4cf-24eba4f965c1>>. Acesso em 03 mai. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2019. **Geração Distribuída: Brasil ultrapassa marca de 1GW em geração distribuída. Regulamentos da Agência possibilitaram avanço da geração distribuída.** Publicação: 11/06/2019. Disponível em<[https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset\\_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1-gw-em-geracao-distribuida/656877](https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1-gw-em-geracao-distribuida/656877)>. Acesso em 03 fev. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2021. **Informações Técnicas/Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Eficiência Energética/Programa de P&D/Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica.** Disponível em: < <https://www.aneel.gov.br/programa-de-p-d>>. Acesso em: 03 fev. 2021

ASHEIM, Geir B. Sustainability: Ethical Foundations and Economic Properties. The World Bank Policy Research Department Public Economics Division. Norwegian School of Economics and Business Administration, N-5035 Bergen-Sandviken, Norway, May 1994. Disponível <  
<http://documents1.worldbank.org/curated/en/605011468739497097/pdf/multi0page.pdf>>. Acessado em 13 abr 2021.

BENTO, Daniel. Os 3D's do Setor Elétrico. **Revista o setor elétrico.** Edição 169 – março de 2020, Capítulo 2 – Disponível em:<  
<https://www.osetoeletrico.com.br/category/fasciculos/2020/inovacao-em-distribuicao-de-energia-digitalizacao-descentralizacao-e-descarbonizacao/>>. Acesso em: 21 jan. 2021.

BERGEK, Anna. **Shaping and Exploiting Technological Opportunities: The Case of Renewable Energy Technology in Sweden, Ph.D. Thesis, Department of Industrial Dynamics,** Chalmers University of Technology, Göteborg. 2002. Disponível em <  
[https://www.researchgate.net/profile/AnnaBergek/publication/36213742\\_Shaping\\_and\\_exploiting\\_technological\\_opportunities\\_the\\_case\\_of\\_renewable\\_energy\\_technology\\_in\\_Sweden/links/560514be08aea25fce321269/Shaping-and-exploiting-technological-opportunities-the-case-of-renewableenergy-technology-in-Sweden.pdf](https://www.researchgate.net/profile/AnnaBergek/publication/36213742_Shaping_and_exploiting_technological_opportunities_the_case_of_renewable_energy_technology_in_Sweden/links/560514be08aea25fce321269/Shaping-and-exploiting-technological-opportunities-the-case-of-renewableenergy-technology-in-Sweden.pdf)> Acessado em: 13 abr 2021.

BERGEK, Anna; HEKKERT, Marko.; JACOBSSON, Staffan. **Functions in innovation systems: A framework for analyzing energy system dynamics and identifying goals for system-building activities by entrepreneurs and policy makers.** RIDE/IMIT Working Paper nº 84426-008. 2007. Disponível em: <[http://www.imit.se/pdf/reports/2007\\_153.pdf](http://www.imit.se/pdf/reports/2007_153.pdf)>. Acesso em: 23 jan. 2021.

BRESCHI, S.; MALERBA, F. **Setorial innovation systems: technological regimes, schumpeterian dynamics, and spacial boundaries.** In: EDQUIST, C. (Ed.). Systems of



innovation: technologies, institution, and organization. Londres: Pinter, 1997. Disponível em <[https://charlesedquist.files.wordpress.com/2015/06/science-technology-and-the-international-political-economy-series-charles-edquist-systems-of-innovation\\_-technologies-institutions-and-organizations-routledge-1997.pdf](https://charlesedquist.files.wordpress.com/2015/06/science-technology-and-the-international-political-economy-series-charles-edquist-systems-of-innovation_-technologies-institutions-and-organizations-routledge-1997.pdf)>. Acessado em: 13 abr 2021.

CASSIOLATO, José Eduardo; LASTRES, Helena Maria Martins. Sistema de inovação e desenvolvimento as implicações de política. **Revista São Paulo em Perspectiva**. versão impressa ISSN 0102-8839 versão On-line ISSN 1806-9452. São Paulo Perspec. v.19 n.1, p. 34-45. São Paulo jan./mar. 2005. Disponível em:<<https://doi.org/10.1590/S0102-88392005000100003>>. Acesso em 24 jan. 2021.

CASTRO, Nivalde de; ALVES, André; CASTRO, Bianca; Masseno, Luiza; SALLES, Diogo. **A Transição Energética na lógica da Descarbonização: do carvão para o gás natural**. Agência Canal Energia. Rio de Janeiro, 4 de setembro de 2019.

CAPES - Plataforma Sucupira. **Cursos avaliados e reconhecidos na área de conhecimento Engenharias IV – Engenharia Elétrica, 2020**. Disponível em <<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/programa/quantitativos/quantitativosEs.xhtml?areaAvaliacao=14&areaConhecimento=30400007>> Acesso em: 15 jan 2021.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA - COPEL, **Programas de pesquisa e desenvolvimento**, 2020. Disponível em <<https://www.copel.com/hpcweb/institucional/pesquisa-e-desenvolvimento/>>. Acessado em 05 fev. 2021.

COSTA, T.M.G., SILVA, S.R. **Uma discussão quanto a inserção de sistemas fotovoltaicos em redes elétricas – Um estudo de caso**. Simpósio brasileiro de sistemas elétricos – SBSE 2014, Foz do Iguaçu-PR.

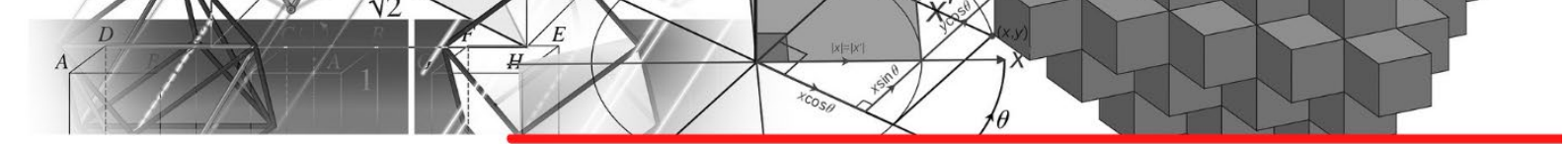
COSTA, T.M.G, SILVA, S.M., **Projeto de microgeração fotovoltaica e suas perspectivas técnicas, comerciais e regulatórias**. Conferência brasileira sobre a qualidade da energia elétrica – CBQEE 2015, Campina Grande – PB.

COUTINHO, Diogo R.; FOSS, Maria Carolina; MOUALLEN, Pedro Salomon B. **Inovação no Brasil: avanços e desafios jurídicos e institucionais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2017.

DO NASCIMENTO, Décio Estevão; Furtado, André Tosi; Bonacelli, Maria Beatriz. **Mapping the Functional Standard of the Technological Innovation System of Small Hydro Power Plants (SHP) in Brazil**. In: 1 Latin American Meeting Hydro Power & Systems. Campinas, 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE, 2019. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 / Ministério de Minas e Energia**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf>>. Acesso em 23 jan. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional, 2020: Ano base 2019 / Empresa de Pesquisa Energética**. – Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020\\_sp.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf)>. Acesso em: 23 jan. 2021.



GAUDARDE, Gustavo, **Mercado de geração distribuída triplica em 2019 puxado pela demanda residencial**, 2020. Disponível em: <<https://epbr.com.br/mercado-de-geracao-distribuida-triplica-em-2019-puxado-pela-demanda-residencial/>>. Acesso em 08 maio 2021.

FERREIRA, W. C. **Política de Conteúdo Local e energia eólica**: a experiência brasileira. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.

LUNDVALL, Bengt- Ake . National innovation systems: towards a theory of innovation and interactive learning. Londres: Pinter, 1992. Disponível em <<https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/31613/626406.pdf?sequence=1#page=102>> Acesso em: 13 abr 2021.

MERCEDES, S. S. P; RICO, J. A. P; POZZO, L. Y. Uma revisão histórica do planejamento do setor elétrico brasileiro. **Revista USP**. São Paulo, n. 104. p. 13-36. janeiro/fevereiro/março 2015.

NASCIMENTO, R. L. **Energia solar no Brasil**: situação e perspectivas. Brasília. Senado Federal, 2017.

PEREIRA, E. B; MARTINS, F.R.; ABREU, S. L. de; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

TIEPOLO, G. M. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Estado do Paraná**. Tese (doutorado), Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PPGEPS, Curitiba, 2015.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S., ALVES, A. R. **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**. 1a Edição. Curitiba: INPE, 2017.



# CAPÍTULO 10

## DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA REABILITAÇÃO DE MÃOS, EXTENSOR/FLEXOR DE DEDOS

DOI: 10.47402/ed.ep.c20217619660

**Carolina Berton Sanches**, Graduada do Curso de Engenharia Mecânica, UNESP-FEIS

**Marcio Antonio Bazani**, Professor Doutor do Departamento de Engenharia Mecânica, UNESP-FEIS

**Gustavo Mauro Witzel Machado**, Especialista em neurologia pela UnB, Fisioterapeuta do CER - Ilha Solteira

**Alvaro Augusto Ferreira**, Graduando do Curso de Engenharia Mecânica, UNESP-FEIS

### RESUMO

A mão humana possui inúmeras funcionalidades devido a seu grande número de graus de liberdade, tanto nos dedos quanto na palma da mão, sua anatomia é composta por vinte e sete ossos divididos em três partes e quatro diferentes localizações de articulações. Além disso, são considerados quatro tipos de movimentos distintos que os dedos podem realizar a partir de uma posição neutra. As disfunções desses movimentos são geralmente causadas por patologias como fraturas ósseas ou lesões a nível dos ligamentos ou pela degradação natural do aparelho musculoesquelético, além de patologias associadas ao sistema nervoso. Com isso, o objetivo da reabilitação das mãos é potencializar a função residual de pacientes que sofreram alguma dessas patologias, ou mesmo que foram submetidos a cirurgias. Sendo assim, o presente trabalho busca desenvolver um equipamento protótipo para reabilitação de mãos, que possua maior versatilidade e menor custo em comparação aos existentes no mercado. Com base em ensinamentos e comentários de um especialista da área de fisioterapia e reabilitação, e buscas em literaturas interdisciplinares, foi possível elaborar um aparelho que oferecesse maior praticidade aos pacientes, sem que a segurança fosse comprometida.

**PALAVRAS-CHAVE:** Construção de mecanismos; Reabilitação de mãos e dedos; Acessibilidade a reabilitação.

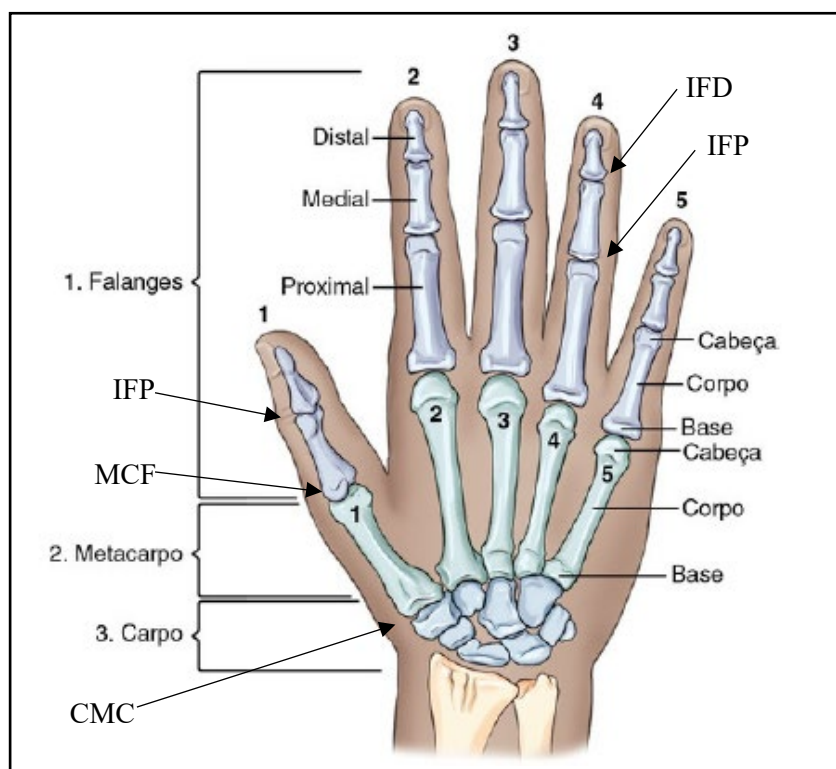
### INTRODUÇÃO

A funcionalidade da mão, assim como sua capacidade de adaptar-se à diferentes tipos de objetos, deve-se à existência de 23 graus de liberdade (GDL), sendo cinco para o polegar, quatro para cada um dos outros dedos e mais dois para a palma da mão (POLIS, 2009). A literatura de anatomia (FREIVALDS, 2011; GRAAFF, 1991; SOBOTTA, 2006; NETTER, 2006), apresenta a nomenclatura e divisão dos vinte e sete ossos em três partes. São divididos em Carpo (Escafóide, Semilunar, Piramidal, Pisiforme, Trapézio, Trapezóide, Capitato, Amato), Metacarpo (são cinco e numerados a partir do polegar) e Falanges (Proximal, Medial e Distal, com exceção do polegar que não possui falange medial). As articulações entre os ossos são nomeadas de acordo com sua localização, sendo a articulação Carpometacarpal (CMC)



situada entre os ossos da linha distal e os ossos do metacarpo. Entre os ossos do metacarpo e as falanges proximais, a articulação Metacarpofalângica (MCF). A articulação Interfalângica Proximal (IFP) entre as falanges proximais e as falanges mediais, e a articulação Interfalângica Distal (IFD) entre as falanges mediais e distais. A Figura 1, apresenta as divisões dos ossos e localização das articulações mencionadas.

**Figura 1:** Divisões dos ossos e localização das articulações da mão humana.

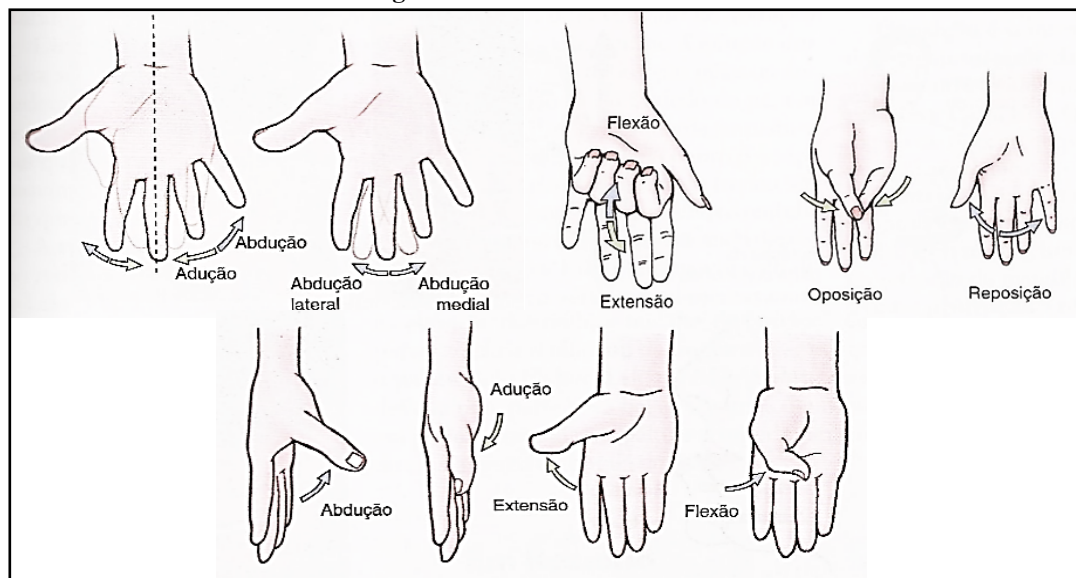


Fonte: (Modificado de BONTRAGER, 2015).

Os movimentos das mãos ocorrem nas articulações entre os ossos e cartilagens, sendo esses considerados em relação a posição anatômica, a qual é caracterizada por posição do corpo de pé, face para frente, braços ao lado do corpo com as palmas e os dedos da mão voltados para frente (FREIVALDS, 2011). Pode-se destacar como os principais movimentos realizados pelos dedos das mãos: flexão, extensão, abdução, adução e oposição. A flexão é caracterizada como a variação angular no sentido de fechamento da mão. Extensão é variação angular no sentido de abertura da mão, e o movimento de abertura de um membro além de sua posição anatômica é chamado de hiperextensão. Abdução é um movimento de afastamento dos dedos em relação ao dedo médio. Já adução é o movimento de reaproximação dos dedos em relação ao dedo médio. E por fim, oposição é o movimento onde a polpa do polegar é aproximada da polpa de outro dedo, sendo que o reposicionamento é o movimento de retorno do polegar da posição de oposição para sua posição anatômica. A Figura 2 exemplifica os movimentos a partir da posição neutra.



**Figura 2:** Movimentos dos dedos.



Fonte: (Modificado de MOORE, DALLEY, 2007).

As disfunções motoras, geralmente, são causadas por patologias como fraturas ósseas ou lesões a nível dos ligamentos ou pela degradação natural do aparelho musculoesquelético devido ao envelhecimento. Além disso, patologias associadas ao sistema nervoso também apresentam disfunções motoras, normalmente causadas por acidentes vascular cerebrais (AVC), doença de Parkinson, lesões na medula espinal, paralisia cerebral, entre outros (MULAS, FOLGHERAITER, GINI, 2005; REINKENSMEYER, KREBS, LEHMA, LUM, 2000).

Dessa forma, o principal objetivo da reabilitação das mãos é potencializar a função residual de pacientes que sofreram alguma dessas patologias, ou mesmo que foram submetidos a uma cirurgia na mão ou no membro superior. Para que a reabilitação seja realizada de maneira adequada, recomenda-se que a força e a resistência muscular sejam aumentadas aos poucos e o paciente precisa ter amplitude de movimento quase completa e estar relativamente sem dor antes de iniciar um programa de fortalecimento. Os exercícios de resistência manual são importantes no fortalecimento inicial e aumentos graduais no número de repetições do exercício aumentam a resistência à fadiga; da mesma maneira, aumentos lentos na resistência podem aumentar a força. O paciente pode realizar atividades da vida diária ou atividades funcionais especiais, ampliando aos poucos o tempo gasto nelas; no entanto, a atividade ou o exercício não devem causar dor, desconforto muscular incomum ou sinais de uso excessivo (DELISA, GANS, 2000).

Os procedimentos destacados, são parâmetros de grande importância para o desenvolvimento do projeto do equipamento para reabilitação, uma vez que deve cumprir todas



as funcionalidades e, conjuntamente, garantir a segurança do paciente. Além disso, deve-se observar características da sensibilidade em função do tipo da lesão, que é uma variável importante no projeto mecânico, pois, caso o equipamento cubra partes da mão do paciente, poderá não ser possível sua utilização, dependendo do tipo de lesão (DELISA, GANS, 2000).

## METODOLOGIA

Com base em aulas ministradas por um especialista da área de fisioterapia e reabilitação, e em estudos realizados a partir de literaturas variadas, desenvolveu-se um equipamento protótipo para reabilitação de mãos, que busca maior versatilidade e menor custo em comparação aos existentes no mercado, com capacidade de realização da maior quantidade de movimentos e exercícios em um único conjunto, garantindo praticidade e segurança aos pacientes com variados tipos de lesões e estruturas corporais.

Alguns equipamentos presentes no mercado e outros personalizados para lesões específicas podem ser vistos na Figura 3, os quais foram considerados como inspirações para que o protótipo fosse desenvolvido.

**Figura 3:** Equipamentos existentes no mercado.



**Fonte:** (Disponível em: < <https://www.shopfisio.com.br/aquarela-exercitador-dinamico-de-dedos> >).

No entanto, como pode ser notado pelas imagens, os aparelhos existentes não são capazes de realizar vários exercícios em apenas um conjunto, além de alguns também não possuírem regulagens de tamanho ou de rigidez do exercício, fazendo com que os pacientes tenham que adquirir mais de um aparato para realização de outros movimentos, gerando um maior custo e menor praticidade para esses usuários. Dessa forma, como mencionado anteriormente, foi desenvolvido um protótipo que apresenta melhorias em relação aos



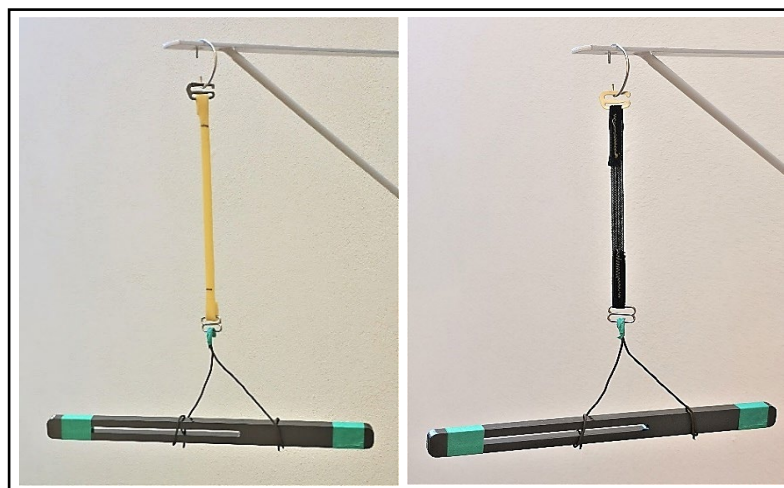
existentes, sendo essas: possibilidade de realização de mais de um tipo de exercício em um único aparelho, a partir de pequenas adaptações; regulagens e ajustes para diferentes tamanhos de pacientes; e, possibilidade de mudança de constantes das molas ou elásticos.

Primeiramente, realizou-se uma pesquisa a fim de definir quais os movimentos e exercícios deveriam ser exercidos pelos pacientes para diferentes tipos de lesões, com o objetivo de desenvolver uma geometria que garantisse uma boa execução de todos os movimentos sem que o paciente sinta desconforto ou dificuldade para realização da atividade. Para a obtenção da geometria buscada, utilizou-se o software *SolidWorks*, sendo desenhados alguns modelos para que, posteriormente, o mais adequado fosse escolhido para confecção.

Em relação a seleção dos materiais e processos de fabricação, considerou-se apenas recursos disponíveis e de fácil acesso no mercado, para que um menor custo fosse alcançado. Dessa forma, os materiais escolhidos para a confecção do protótipo foram: chapa de 1,9mm de espessura de aço 1020 para a estrutura do equipamento; tiras de polímero revestidas com tecido para a região de contato com o braço do paciente; além de ajustes da órtese com velcro; e por fim, decidiu-se utilizar dois tipos de elásticos para realização dos exercícios, sendo esses fixados no equipamento por pequenas argolas de metal e presos nos dedos do paciente.

A partir dos elásticos escolhidos, realizou-se ensaios pra a determinação de suas constantes elásticas, a fim de possibilitar a realização de regulagens, como posicionamentos e de cargas, específicas de acordo com a necessidade de cada paciente. Tais valores também foram fundamentais durante as etapas de simulação estrutural do conjunto, obtendo-se resultados mais representativos. A seguir, a Figura 4 apresenta a realização do teste nos dois tipos de elásticos escolhidos.

**Figura 4:** Procedimento adotado para determinação das constantes elásticas.



Fonte: Desenvolvido pelos autores.

As massas utilizadas variaram de 50g a 350g, e então as deformações foram medidas a cada incremento de 50g. A partir dos valores medidos nos ensaios, foram geradas curvas referentes ao elástico mais e menos rígido, respectivamente.

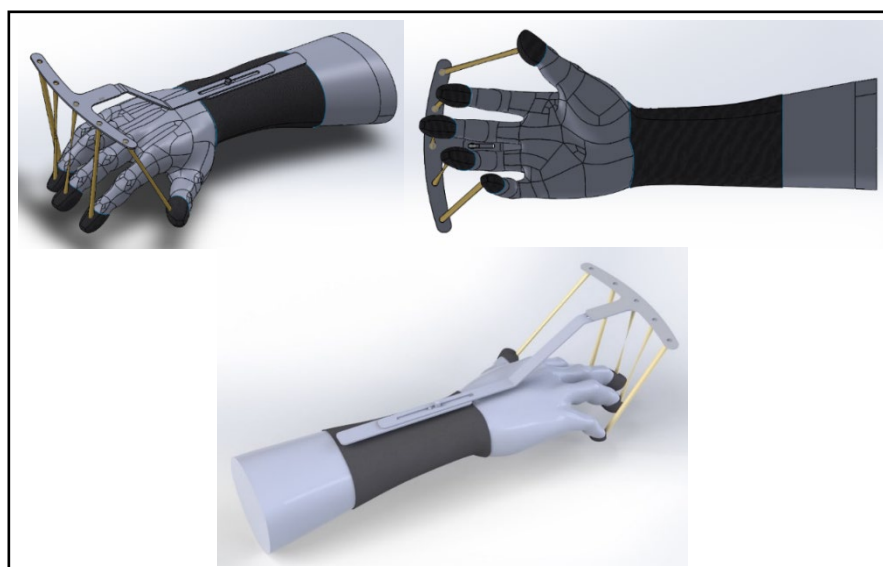
Após a definição dos materiais utilizados, realizou-se simulações por elementos finitos pelo software *ANSYS*, a fim de comparar as geometrias e analisar pontos de interesse. O carregamento empregado no conjunto foi de 35N, valor baseado no trabalho “Development of a Multi-DOF Exoskeleton Based Machine for Injured Fingers” (FU, Y., WANG, P., WANG, S., 2008), o qual menciona forças máximas em torno do valor escolhido.

Por fim, com as etapas de projeto finalizadas, deu-se início à construção do protótipo. Para a manufatura das peças em aço, utilizou-se o processo de corte a laser, devido a sua disponibilidade no momento e patrocínio concedido pela empresa para a realização do serviço. Já as partes em tecido foram costuradas de maneira que fossem alcançados bom acabamento e conforto ao paciente.

## RESULTADOS

Assim como descrito pela seção anterior, foram desenhadas algumas geometrias a partir do software *SolidWorks* e, posteriormente, feitas análises estruturais por meio de elementos finitos, a fim de possibilitar a realização de alterações e ajustes em sua geometria, selecionando a mais adequada para o protótipo. A Figura 5 apresenta uma das geometrias escolhidas para análise.

**Figura 5:** Vistas de uma das geometrias desenvolvidas.

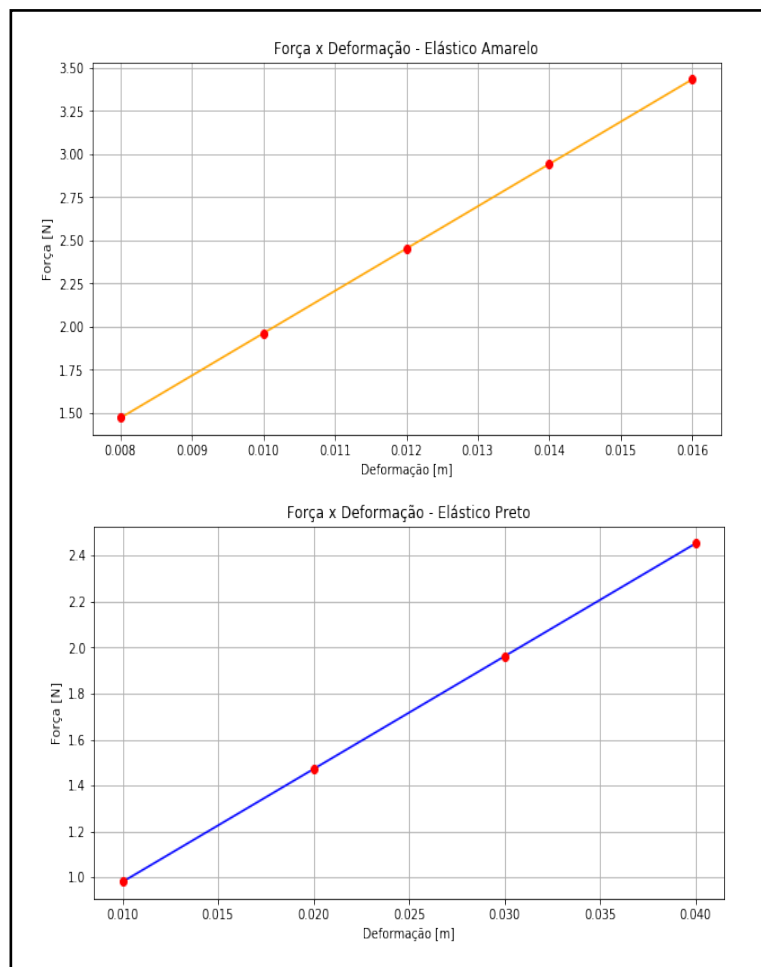


**Fonte:** Desenvolvido pelos autores.



A partir dos testes realizados para a determinação das constantes elásticas dos dois tipos de elásticos, gerou-se as duas curvas apresentadas na Figura 6, referentes ao elástico mais e menos rígido, respectivamente, e determinou-se um  $k_1=204N/m$  para o primeiro elástico e, um  $k_2=61N/m$  para o segundo.

**Figura 6:** Curvas geradas para o elástico mais e menos rígido, respectivamente.

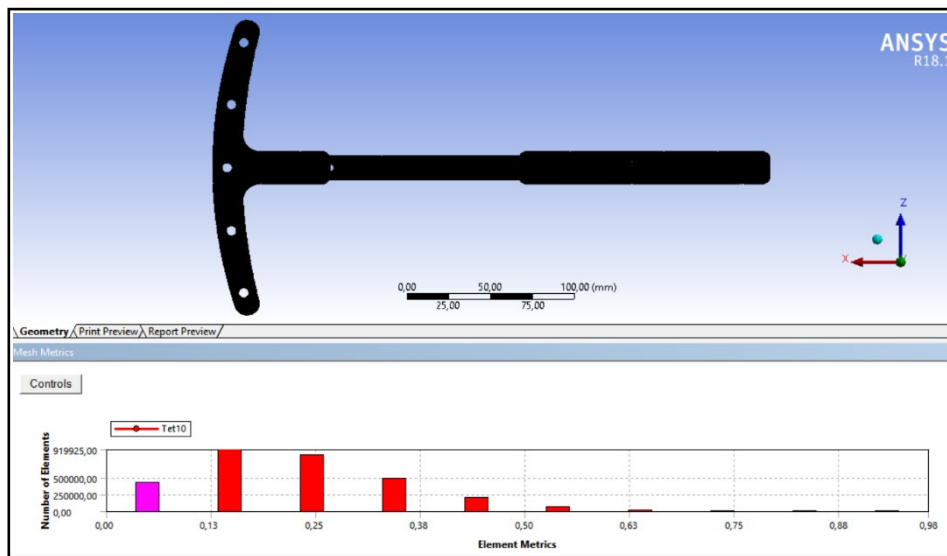


**Fonte:** Desenvolvido pelos autores.

Importou-se então a geometria para o software *ANSYS*, para que uma análise estrutural fosse realizada. A Figura 7, apresenta a qualidade da malha gerada pelo software considerando Skewness, e as tensões resultantes no conjunto são exibidas pela Figura 8.

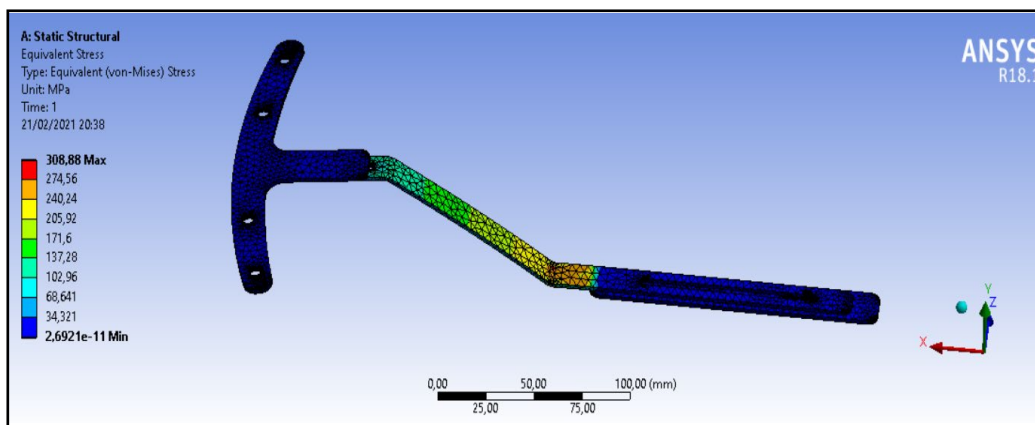


**Figura 7:** Qualidade da malha gerada.



**Fonte:** Desenvolvido pelos autores.

**Figura 8:** Tensões resultantes no conjunto.



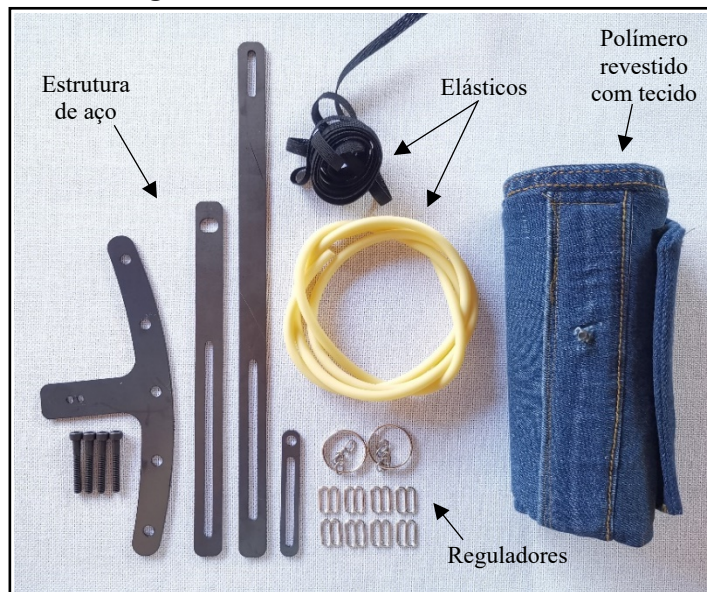
**Fonte:** Desenvolvido pelos autores.

Observa-se então tensões máximas de aproximadamente 305MPa, nas regiões esperadas onde existe maior sollicitação do equipamento, sendo essas tensões consideradas razoáveis, uma vez que o material escolhido possui um limite de escoamento em torno de 310MPa. Deve-se ressaltar que o carregamento empregado é uma situação extrema, e não será atingida durante o uso do equipamento por pacientes em reabilitação, além disso, por ser um primeiro protótipo, considerou-se os resultados aceitáveis.

Por fim, foi realizada a manufatura do protótipo, com pequenas alterações em relação a Figura 5, buscando uma maior facilidade e melhor confecção, no entanto, sem comprometer o projeto realizado. A seguir, são apresentados os materiais utilizados para a manufatura do protótipo e o equipamento obtido após sua confecção, respectivamente na Figura 9 e na Figura 10.



**Figura 9:** Materiais utilizados na manufatura.



**Fonte:** Desenvolvido pelos autores.

**Figura 10:** Equipamento confeccionado.

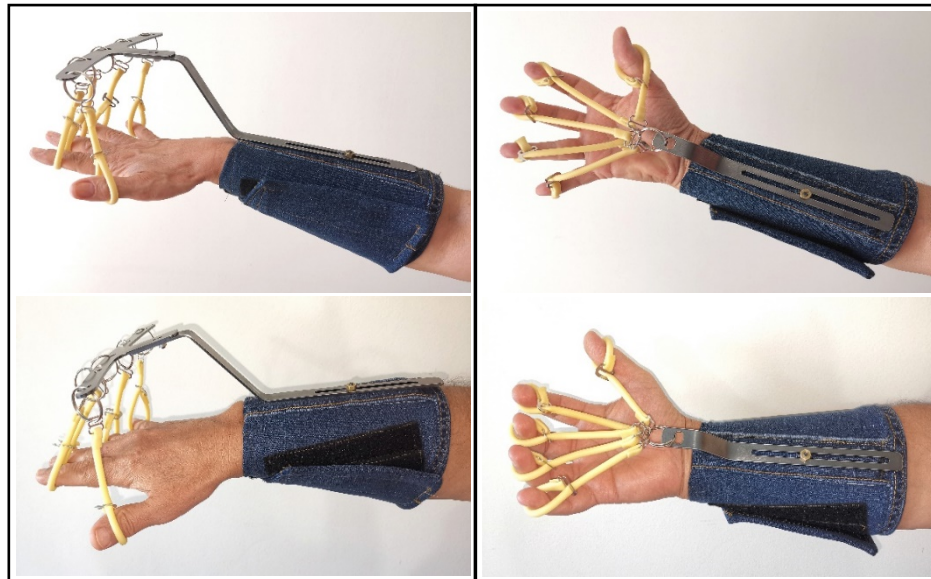


**Fonte:** Desenvolvido pelos autores.

Foram feitas também algumas fotografias mostrando o equipamento sendo utilizado por dois usuários de portes diferentes, as Figuras 11 e 12 apresentam as configurações utilizadas no aparelho.

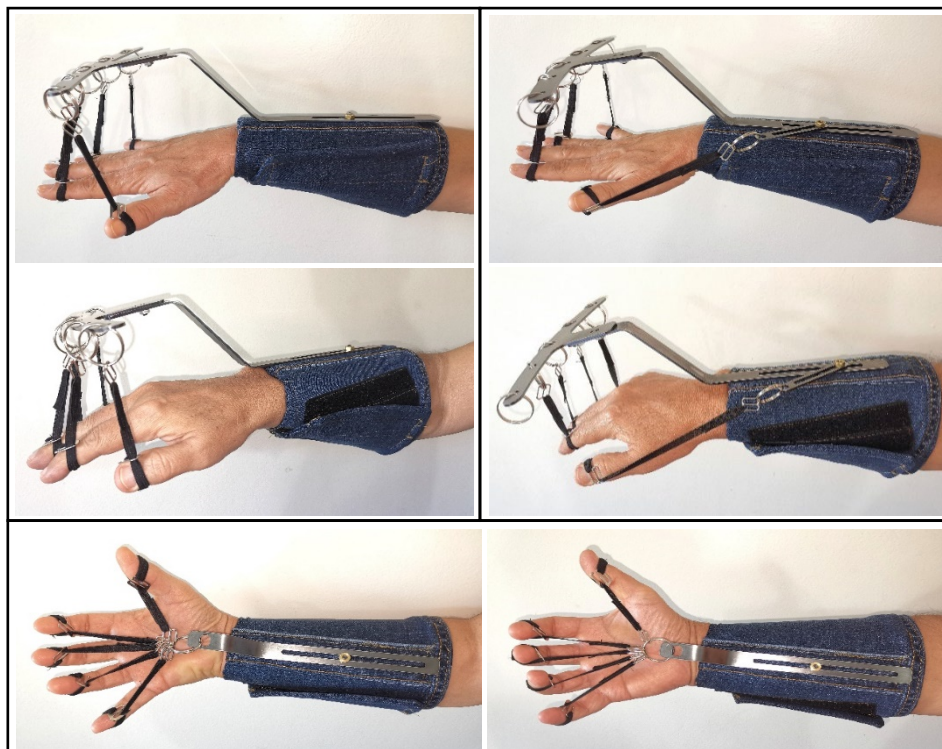


**Figura 11:** Fotografias das configurações do aparelho em usuários de tamanhos distintos.



**Fonte:** Desenvolvido pelos autores.

**Figura 12:** Fotografias das configurações do aparelho em usuários de tamanhos distintos.



**Fonte:** Desenvolvido pelos autores.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento do projeto do protótipo e considerando os objetivos propostos pelo trabalho, conclui-se que o equipamento atingiu o desempenho idealizado e realizou as melhorias propostas, sendo elas: baixo custo de desenvolvimento do aparelho, graças a utilização de materiais acessíveis e disponíveis no mercado; maior praticidade ao usuário, uma vez que não é necessário adquirir mais de um tipo de aparelho para a realização dos exercícios





necessários, pois com poucos ajustes em um único equipamento o paciente é capaz de realizar mais tipos de atividades; possibilidade de regulagens e ajustes de tamanhos e intensidades de exercícios, devido à suas partes móveis intercambiáveis, que garantem maior versatilidade e conforto ao usuário.

De toda forma, por se tratar de um protótipo, o projeto em questão encontra-se aberto para melhorias. Dentre as possibilidades tem-se:

- Utilização de materiais compostos para confecção da estrutura, com objetivo de redução de massa e, conseqüentemente, maior conforto ao usuário;
- Avaliar a possibilidade de confecção dos componentes com uso de impressão 3D, disponibilizando o projeto para que o mesmo beneficie um maior número de pessoas;

## REFERÊNCIAS

BONTRAGER: Kenneth L.; John P. Manual Prático de Técnicas e Posicionamento Radiográfico. 8 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

DELISA, GANS. Tratado de Medicina de Reabilitação, Ed. Manole, 3ª ed., vol. 2, 2000.

FREIVALDS, A. Biomechanics of the upper limbs: mechanics, modeling and musculoskeletal injuries. [S.l.]: CRC Press, 2011.

FU, Y., WANG, P., WANG, S., Development of a Multi-DOF Exoskeleton Based Machine for Injured Fingers, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2008.

GRAAFF, K. V. D. Human Anatomy. McGraw-Hill Higher Education, 1991. ISBN 9780697078964.

MOORE, K. L.; DALLEY, A. F., Anatomia Orientada para a Clínica, 5ª ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

MULAS, M., FOLGHERAITER, M., GINI, G. "An EMG-controlled exoskeleton for hand rehabilitation," in Rehabilitation Robotics, 2005. ICORR 2005. 9th International Conference on, 2005, pp. 371-374.

NETTER, F. H. et al. Atlas of human anatomy. [S.l.: s.n.], 2006. v. 11.

POLIS, J. E. Projeto e construção de parte estrutural de prótese de mão humana com movimentos. Biblioteca Digital da Unicamp, 2009.

REINKENSMEYER, N.; KREBS, H.; LEHMA, S.; LUM, P. Biomechanics and neural control of posture and movement: Eds Winters J. Springer-Verlag, 2000.

SOBOTTA, J. Sobotta Atlas de anatomia humana. Guanabra-Koogan, 2006. ISBN 9788527711944.



# CAPÍTULO 11

## BIO-ÓLEO E RENDIMENTOS DA PIRÓLISE DE BIOMASSA RESIDUAL DE *PINUS*: SUSTENTABILIDADE E APLICAÇÕES SOCIO-AMBIENTAIS<sup>1</sup>

DOI: 10.47402/ed.ep.c202176210660

**Jeferson Benedetti Eilert**, Mestre em Genética e Melhoramento, UEM, Residente Técnico no Instituto Água e Terra, IAT

**Ana Claudia de Jesus**, Licenciada em Química, IFPR

**Maira Casagrande**, Doutora em Química, UNICENTRO e Técnica de Laboratório do Campus Dois Vizinhos da UTFPR

**Daiane Leite**, Graduação em Farmácia, IFPR

**Jaqueline Nicolini**, Doutora em Química, UFPR e Professora do Campus Palmas do IFPR

**Rodrigo Hinojosa Valdez**, Doutor em Microbiologia, UEL e Professor do Campus Cascavel do IFPR

**Keller Paulo Nicolini**, Doutor em Química, UFPR e Professor do Campus Palmas do IFPR

### RESUMO

A biomassa residual é gerada em grande quantidade em atividades agrícolas e industriais. Na região sudoeste do Paraná, Brasil, a indústria de beneficiamento de madeira de reflorestamentos de *Pinus* sp. gera uma grande quantidade de resíduos de biomassa celulósica com potencial energético. Em muitas das indústrias de beneficiamento da madeira os resíduos do processamento são queimados em caldeiras. O objetivo deste estudo foi investigar os rendimentos de pirólise de *Pinus* sp. e as propriedades antibacterianas do bio-óleo gerado durante a pirólise frente as bactérias *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa*. Os resultados indicam que na temperatura de 350 °C ocorre equiparação na conversão de biomassa em carvão de 34,99 %, com conversão de 34,91 % da biomassa em bio-óleo. Os óleos testados apresentaram atividade antibacteriana, formando halos inibitórios, frente às cepas das bactérias *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Bacillus subtilis*.

**PALAVRAS-CHAVE:** Atividade antimicrobiana, biomassa, resíduos, carvão e bio-óleo

### INTRODUÇÃO

Uma das atividades agrícolas da região Sudoeste do Paraná, Brasil, é o reflorestamento de grandes áreas com *Pinus* sp., que é cultivado por pequenos, médios e grandes produtores. O corte é realizado de forma mecânica com os chamados “Harvester’s” que são tratores

<sup>1</sup> Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIIC/IFPR) e Programa de Bolsas e Extensão do IFPR.



derrubadores com cabeçotes processadores e com os chamados “Feller Buncher’s” que são tratores derrubadores empilhadores. Na região Sudoeste do Paraná o beneficiamento da madeira de *Pinus* é em sua maioria voltado à produção de compensados. O corte da madeira deixa no solo uma grande quantidade de material orgânico, sendo que a decomposição da matéria orgânica é a principal fonte de ácidos orgânicos no solo, os quais tem relação com a disponibilidade de nutrientes no solo (PAVINATO E ROSOLEM, 2008). O processo de decomposição deste material consome o nitrogênio disponível no solo e para utilizar o carbono da biomassa como fonte de energia, os microrganismos imobilizam nitrogênio mineral do solo, diminuindo a sua disponibilidade para as plantas jovens no momento do plantio (AITA *et al.*, 2001). Em regiões de cultivo intensivo de *Pinus* imediatamente após o corte é realizado o replantio das árvores, que em sua fase inicial de desenvolvimento requer um adequado teor nutricional de macro e micro nutrientes. Um macronutriente importante para o solo é o nitrogênio, que tem seu teor diminuído na biota do solo por ser consumido no processo de decomposição dos resíduos do corte das plantas adultas (FIGUEIREDO *et al.*, 2014). Para reduzir os custos do replantio com adubação, estratégias como a remoção e a alteração física dos resíduos do corte das plantas adultas vêm sendo realizadas. O beneficiamento dos troncos das plantas adultas produz o compensado, gerando uma grande quantidade de resíduos de casca e de madeira que são utilizados na maioria das vezes como combustível em caldeiras. As caldeiras são utilizadas para o beneficiamento da madeira bruta até o material mais nobre, o compensado. Os resíduos gerados a partir do beneficiamento dos troncos é o objeto de estudo deste trabalho, onde através da pirólise, também conhecida como carbonização, buscou-se agregar valor a subprodutos da matriz regional com aplicações sócio-ambientais, promovendo a sustentabilidade e o desenvolvimento local e regional.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A origem da carbonização provém da antiguidade, pois o primeiro processo químico foi, provavelmente, a fabricação do carvão de madeira, o qual era usado pelos habitantes das cavernas (SHREVE E BRINK, 1997). A decomposição de um composto por ação exclusiva do calor denomina-se pirólise. Na pirólise os alcanos de maior peso molecular transformam-se em alcanos de menor peso molecular (MORRISON E BOYD, 1992). Assim, a pirólise é a degradação térmica da biomassa em ausência de oxigênio, tendo como resultado três produtos: carvão, gases não condensáveis e gases condensáveis. A proporção destes está em função da matéria-prima e do sistema operacional (LYNCH E JOSEPH, 2010).



A biomassa é composta basicamente por carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre e compostos inorgânicos. Durante a produção de carvão, por condensação, obtêm-se o bio-óleo que tem uma composição complexa, que varia em função do tipo de biomassa (GUEDES *et al.*, 2010).

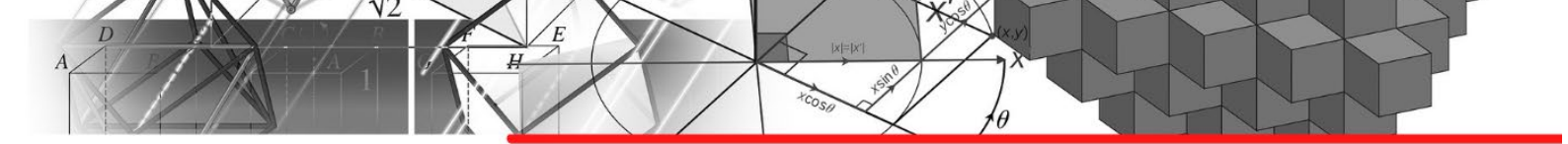
Além do baixo custo e da ampla disponibilidade de diferentes biomassas em muitas regiões do mundo, o uso da biomassa residual tem baixa contribuição em dióxido de carbono, não ocasionando poluição atmosférica, sendo uma alternativa viável (YANG *et al.*, 2021) para substituir combustíveis fósseis (VAMVUKA *et al.*, 2003). Para a otimização do rendimento do processo de pirólise é importante secar a biomassa para que o material tenha um teor menor que 10 % em massa de água. Durante a pirólise rápida vapores de água são gerados, sendo que o bio-óleo contém, em massa, em torno de 15 % de água, 60 % de compostos orgânicos e 11% de água de reação. A presença de água como constituinte afeta a estabilidade química do bio-óleo (BRIDGWATER, 1999).

Estudos têm demonstrado que o bio-óleo proveniente da pirólise de *Tecnona grandis*, é capaz de inibir o desenvolvimento de bactérias Gram positivas e Gram negativas (OYEBANJI E OLOLADE, 2017). Bactérias são micro-organismos procariontes microscópicos presentes no meio ambiente (OPAS, 2021; ROSZAK E COLWELL, 1987), que em sua maioria não são patogênicos em seres humanos, porém alguns gêneros bacterianos provocam, em humanos, desde simples infecções cutâneas, até infecções invasivas que podem levar ao óbito (TRABULSI E ALTERTHUM, 2008). Neste estudo serão investigados os rendimentos de pirólise de *Pinus* sp. e as propriedades antibacterianas do bio-óleo gerado durante a pirólise frente as bactérias *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa*.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### PIRÓLISE DA BIOMASSA, ANÁLISES TERMOGRAVIMÉTRICAS E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

O resíduo estudado foi gerado por uma indústria de compensados do Sudoeste do Paraná, e corresponde ao resíduo de diferentes espécies de *Pinus*. A pirólise das amostras foi realizada em um reator anaeróbio adaptado a um Condensador de Liebig. Para isso, adaptou-se uma Mufla elétrica Modelo Quimis contendo termostato ao sistema de condensação. Esta operação foi realizada em micro escala simulando o processo industrial. A pirólise das diferentes amostras foi realizada nas temperaturas de 250, 300, 350, 400, 450 e 500 °C, durante



quatro horas. Para as análises termogravimétricas seguiram-se as metodologias propostas pela ABNT - NBR 8112 de 1986 (NBR, 1986).

Para as análises termogravimétricas é realizado o acompanhamento da variação da massa das amostras, em função da temperatura de pirólise. Dessa forma, foi determinado, de acordo com Nicolini, Casagrande e Jesus (2013), o rendimento gravimétrico do material pirolisado ( $R_{GMP}$ ), o rendimento gravimétrico dos gases condensáveis ( $R_{GGC}$ ), o teor de cinzas do material pirolisado ( $T_{CZMP}$ ), o teor de materiais voláteis do material pirolisado ( $T_{MVMP}$ ) e o teor de carbono fixo ( $T_{CFMP}$ ) (NICOLINI, CASAGRANDE E JESUS, 2013).

O  $R_{GMP}$  se baseia na determinação do percentual de rendimento gravimétrico do material pirolisado através de medidas gravimétricas por diferença de massas nas diferentes temperaturas. Para a expressão do resultado em percentual de rendimento gravimétrico do material pirolisado, utiliza-se a Equação 1.

$$R_{GMP} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo  $P_1$  é a massa da amostra antes do processo de pirólise (g) e  $P_2$  a massa do material pirolisado (g) o rendimento gravimétrico do material pirolisado ( $R_{GMP}$ ) é expresso em porcentagem partir da multiplicação do valor adimensional obtido por 100.

O  $R_{GGC}$  baseia-se na determinação do percentual do rendimento gravimétrico em gases condensáveis, utilizando uma relação gravimétrica entre o líquido condensado no condensador, chamado de líquido pirolenhoso e a quantidade de massa inicial de amostra determinada para o procedimento de pirólise dos materiais. Para expressão do resultado em percentual do rendimento gravimétrico dos gases condensáveis, utiliza-se a Equação 2.

$$R_{GGC} = \left( \frac{P_3 - P_4}{P_1} \right) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

$R_{GGC}$  indica o rendimento gravimétrico em gases condensáveis (%),  $P_3$  é a massa do conjunto formado pelo recipiente de coleta e dos gases condensáveis (g),  $P_4$  é a massa do recipiente de coleta dos gases condensáveis (g) e  $P_1$  é a massa da amostra antes do processo de pirólise (g).



O teor de cinzas do material pirolisado ( $T_{CZMP}$ ) baseia-se na obtenção do resíduo de óxidos minerais presentes no carvão vegetal após sua combustão completa. Para expressão dos resultados em percentual de cinzas, utiliza-se a Equação 3.

$$T_{CZMP} = \left( \frac{M_3 - M_1}{M_2} \right) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

$T_{CZMP}$  é o teor de cinzas do material pirolisado (%),  $M_3$  é a massa da amostra após a queima (g),  $M_1$  é a massa do cadinho (g) e  $M_2$  é a massa da amostra (g).

A determinação do teor de materiais voláteis do material pirolisado ( $T_{MVMP}$ ) está baseada na medida da porção de massa volatilizada da amostra a 950 °C. Para expressão dos resultados em percentual de matéria volátil, utiliza-se a Equação 4.

$$T_{MVMP} = \left( \frac{F_x - F_3}{F_2} \right) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

Sendo  $T_{MVMP}$  o teor de materiais voláteis do material pirolisado (%),  $F_x$  a massa do conjunto (cadinho + amostra pirolisada) antes do aquecimento (g),  $F_3$  a massa do conjunto (cadinho + amostra pirolisada) após o aquecimento (g) e  $F_2$  a massa da amostra pirolisada (g).

O teor de carbono fixo do material pirolisado ( $T_{CFMP}$ ) baseia-se na porcentagem de carbono que permanece relativamente intacto quando se efetua o aquecimento do carvão vegetal. Para expressão dos resultados em percentual de rendimento gravimétrico de carbono fixo do material pirolisado, utiliza-se a Equação 5.

$$T_{CFMP} = 100 - (T_{CZMP} + T_{MVMP}) \quad (\text{Eq. 5})$$

$T_{CFMP}$  é o teor de carbono fixo do material pirolisado (%),  $T_{CZMP}$  é o teor de cinzas do material pirolisado (%), calculado a partir da Equação 3 e  $T_{MVMP}$  é o teor de materiais voláteis do material pirolisado (%), calculado a partir da Equação 4.

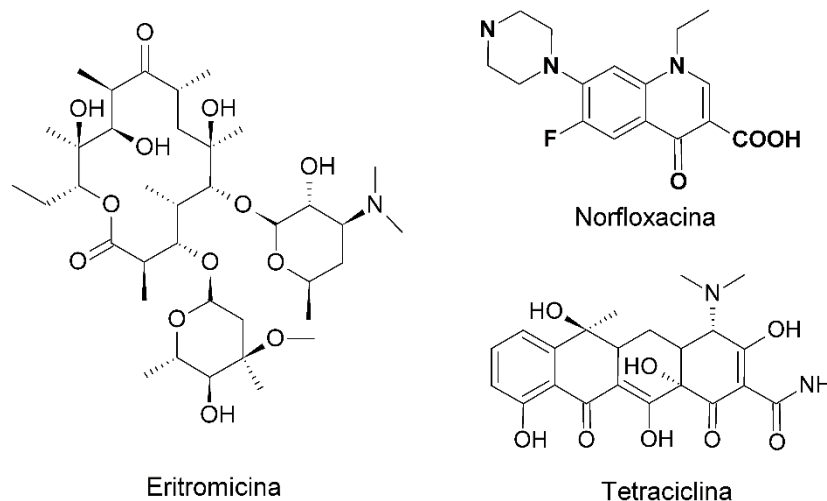
Para as medidas de condutividade elétrica foi utilizado condutivímetro Lutron CD 4303, escala microSiemens ( $\mu\text{S}$ ). Foi preparada uma suspensão a partir das amostras de carvão obtidas nas seis diferentes temperaturas (250, 300, 350, 400, 450 e 500 °C). Para isso, foi utilizado 1 g de cada amostra em 200 mL de água destilada (NICOLINI, CASAGRANDE E JESUS,

2013). As medidas de condutividade elétrica foram realizadas após 1, 10, 21, 31, 41 e 45 dias. Os testes foram realizados em triplicata.

### ATIVIDADE ANTIMICROBIANA

O processo de pirólise produz líquido pirolenhoso (CAMPOS, 2007; NICOLINI, CASAGRANDE E JESUS, 2013), que apresenta duas frações: uma fração oleosa, chamada de bio-óleo (B<sub>O</sub>) e uma fração aquosa, chamada de bio-óleo aquoso (B<sub>A</sub>). Para a determinação das atividades antimicrobianas foi utilizada a técnica de disco-difusão contra *Staphylococcus aureus* (Gram positiva), *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa* (Gram negativas). Foram testadas as amostras B<sub>O</sub>250, B<sub>O</sub>300, B<sub>O</sub>350, B<sub>O</sub>400, B<sub>O</sub>450, B<sub>O</sub>500, B<sub>A</sub>250, B<sub>A</sub>300, B<sub>A</sub>350, B<sub>A</sub>400, B<sub>A</sub>450 e B<sub>A</sub>500, onde B<sub>O</sub> corresponde às frações oleosas e B<sub>A</sub> às frações aquosas do bio-óleo. As amostras foram obtidas nas diferentes temperaturas, indicadas em subscrito, sendo que as frações oleosas e aquosas foram separadas por diferença de densidade. Usou-se como controle os antibióticos comerciais eritromicina, norfloxacina e tetraciclina (Figura 1).

**Figura 1:** Estrutura dos antibióticos comerciais eritromicina, norfloxacina e tetraciclina utilizados como controle



**Fonte:** Os autores

Para a determinação da atividade antimicrobiana utilizou-se cepas padronizadas de *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 25123, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442 e *Bacillus subtilis* ATCC, onde foram feitas suspensões bacterianas de 0,5 na escala McFarland. A metodologia utilizada baseia-se no método de disco difusão (SEJAS *et al.*, 2003) o qual proporciona uma avaliação qualitativa da sensibilidade, sendo considerado como atividade antibacteriana todo halo formado independente do seu diâmetro. Para a realização desse teste foram necessários discos de papel filtro impregnados com 10 µL de óleo puro (B<sub>O</sub> ou B<sub>A</sub>) e com 10 µL dos antimicrobianos comerciais eritromicina, tetraciclina



e norfloxacin, nas concentrações de  $50 \mu\text{g mL}^{-1}$  para a eritromicina,  $40 \mu\text{g mL}^{-1}$  para a tetraciclina e  $20 \mu\text{g mL}^{-1}$  para a norfloxacin onde o veículo contem 1 % de DMSO e 99 % de solução salina (0,95 % de NaCl). As amostras BO<sub>250</sub>, BO<sub>300</sub>, BO<sub>350</sub>, BO<sub>400</sub>, BO<sub>450</sub>, BO<sub>500</sub>, BA<sub>250</sub>, BA<sub>300</sub>, BA<sub>350</sub>, BA<sub>400</sub>, BA<sub>450</sub> e BA<sub>500</sub> dos óleos puros e os antibióticos eritromicina, tetraciclina e norfloxacin foram aplicados sobre as placas de ágar Mueller Hinton semeada com os microrganismos a serem testados. Foram feitas diluições na ordem de  $10^{-1}$  e de  $10^{-2}$  contendo 1 % de DMSO e q.s.p. de uma solução de concentração 0,95 % de NaCl. As placas foram incubadas por um período de 18 a 24 horas a 37 °C para a realização da leitura (TRABULSI E ALTERTHUM, 2008). Todos os testes foram realizados em triplicata.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

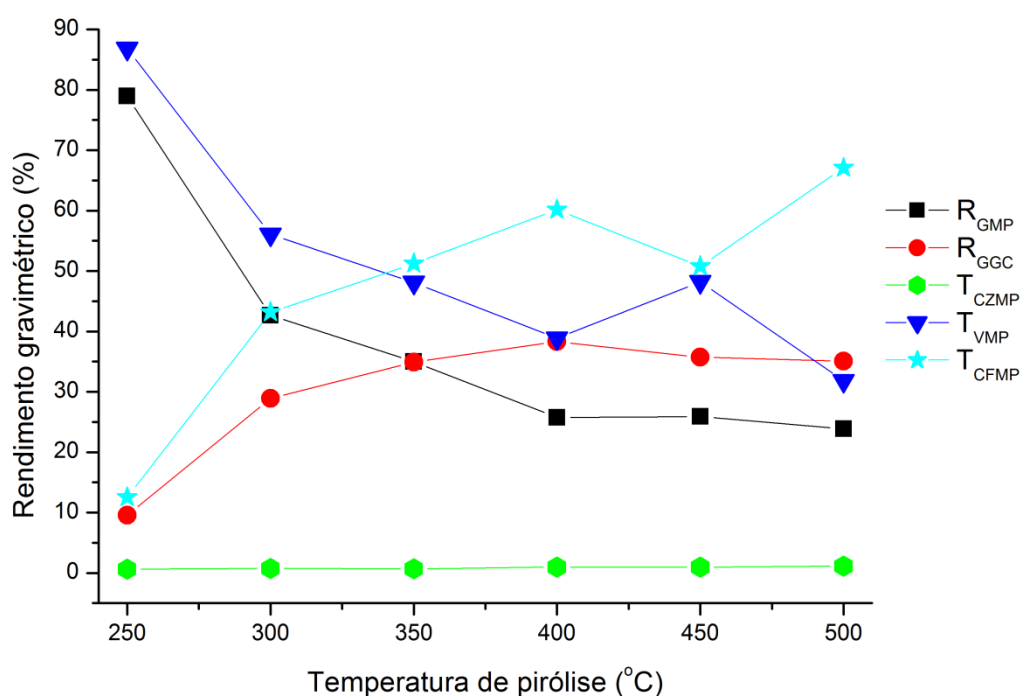
Após a pirólise da biomassa de *Pinus* sp., foi correlacionada a variação da temperatura de pirólise com os dados gravimétricos, calculados a partir das Equações 1-5 ( $R_{GMP}$ ,  $R_{GGC}$ ,  $T_{CZMP}$ ,  $T_{VMP}$  e  $T_{CFMP}$ ). Os dados coletados indicam que o rendimento gravimétrico do material pirolisado ( $R_{GMP}$ ) é inversamente proporcional ao rendimento gravimétrico dos gases condensáveis ( $R_{GGC}$ ) (Figura 2). Na temperatura de 350 °C ocorre conversão de biomassa em carvão ( $R_{GMP}$ ), na proporção de 34,99 % equivalente a conversão de cerca de 34,91 % da biomassa em bio-óleo ( $R_{GGC}$ ). As temperaturas de 350-550 °C, são as temperaturas máximas de destilação, o que justifica esse comportamento (ANDRADE *et al.*, 2004). Ainda sugere-se que quando a pirólise é lenta, como a deste trabalho, é economicamente viável que a temperatura final mínima aceitável seja em torno de 350 °C (YODER *et al.*, 2011). A composição química da biomassa pirolisada é influenciada pela temperatura de pirólise e os valores de  $R_{GMP}$  e  $R_{GGC}$  são atribuídos às características químicas da biomassa investigada (SOARES *et al.*, 2015). Processos de conversão de biomassa que necessitam aliar uma elevada produção de carvão a uma elevada conversão em bio-óleo podem ser desencadeados durante o processo de pirólise em atmosfera redutora em temperaturas entre 350 e 400 °C, pois nessa temperatura de pirólise a decomposição de grupos funcionais permite o rompimento de ligações entre anéis aromáticos e cadeias laterais produzindo hidrocarbonetos gasosos (LEI *et al.*, 2020). A presença de carbono fixo ( $T_{CFMP}$ ) foi, de modo geral, diretamente proporcional ao aumento da temperatura de pirólise (Figura 2). Para o carvão o  $T_{CFMP}$  é uma característica importante para avaliar as propriedades de carvão proveniente de material lignocelulósico, o qual envolve características de produtividade e de qualidade do carvão vegetal (biocarvão) gerado (BOTREL *et al.*, 2007). Observa-se (Figura 2) que as variações do rendimento do material pirolisado ( $R_{GMP}$ ) e carbono fixo ( $T_{CFMP}$ ) são opostos, o que é natural, pois a perda de massa da fração sólida é compensada





pelo aumento no teor de carbono fixo (SOARES *et al.*, 2014). Carvões com elevada porosidade possuem maiores valores de  $T_{VMP}$  gerando maiores perdas de carbono durante o processo de pirólise, diminuindo consequentemente os teores de  $T_{CFM}$  (VELLA *et al.*, 1989). O carvão pode ser usado como material adsorvente (DE RAMOS *et al.*, 2021; GIRODS *et al.*, 2009), na confecção de filtros (BORGES *et al.*, 2016), na produção de condicionadores de solos (GUIMARÃES *et al.*, 2018; KAVITHA *et al.*, 2018; ZANQUETTI *et al.*, 2018) ou como suporte para fertilizantes de liberação gradual (ARIF *et al.*, 2017; GIRELLI *et al.*, 2019).

**Figura 2:** Relação entre a temperatura de pirólise dos resíduos de *Pinus sp.* e o rendimento gravimétrico em material pirolisado ( $R_{GMP}$ ), o rendimento dos gases condensáveis ( $R_{GGC}$ ), o teor de cinzas do material pirolisado ( $T_{CZMP}$ ), o teor de materiais voláteis do material pirolisado ( $T_{MVMP}$ ) e o teor de carbono fixo ( $T_{CFMP}$ )

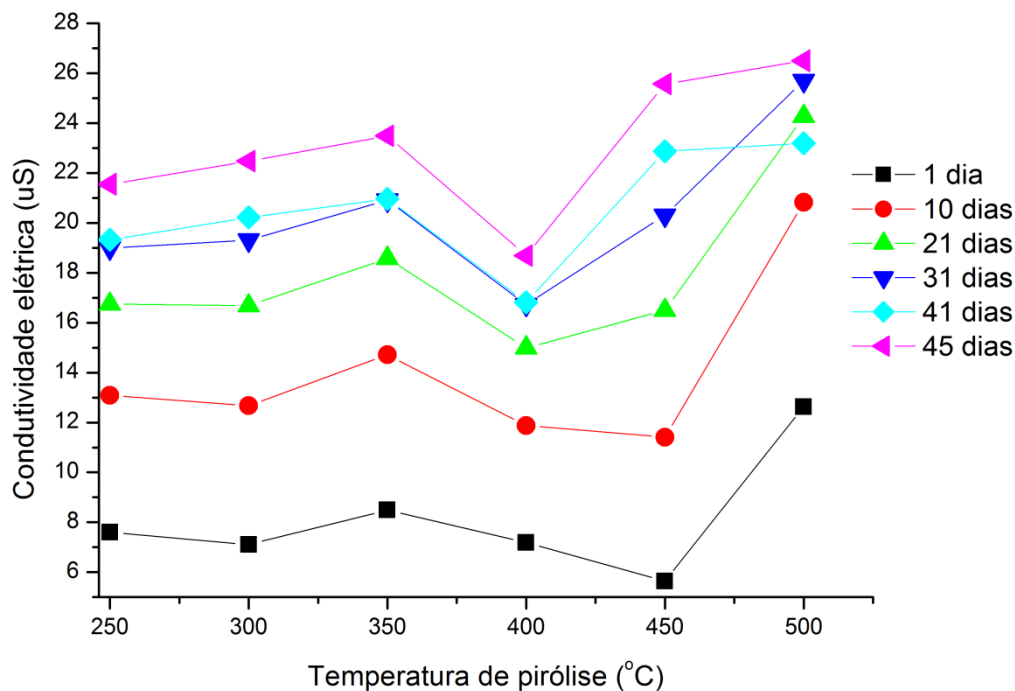


Fonte: Os autores

Foi monitorada a condutividade elétrica dos carvões entre 1 e 45 dias de imersão em água destilada. Observa-se que os carvões obtidos a partir da pirólise em atmosfera redutora de até 500 °C, têm aumento da condutividade em meio aquoso diretamente proporcional ao aumento da temperatura de pirólise (Figura 3 e Figura 4). A condutividade elétrica aumenta com o aumento da temperatura de pirólise, o que se deve aos produtos da lixiviação do carvão durante o monitoramento (DUBA, 1977), sendo que os carvões obtidos a 500 °C, têm os maiores valores de carbono fixo ( $T_{CFMP}$ ).



**Figura 3:** Relação entre a condutividade elétrica das amostras imersas em meio aquoso a 25 °C em diferentes tempos de imersão nas temperaturas de 250, 300, 350, 400, 450 e 500 °C



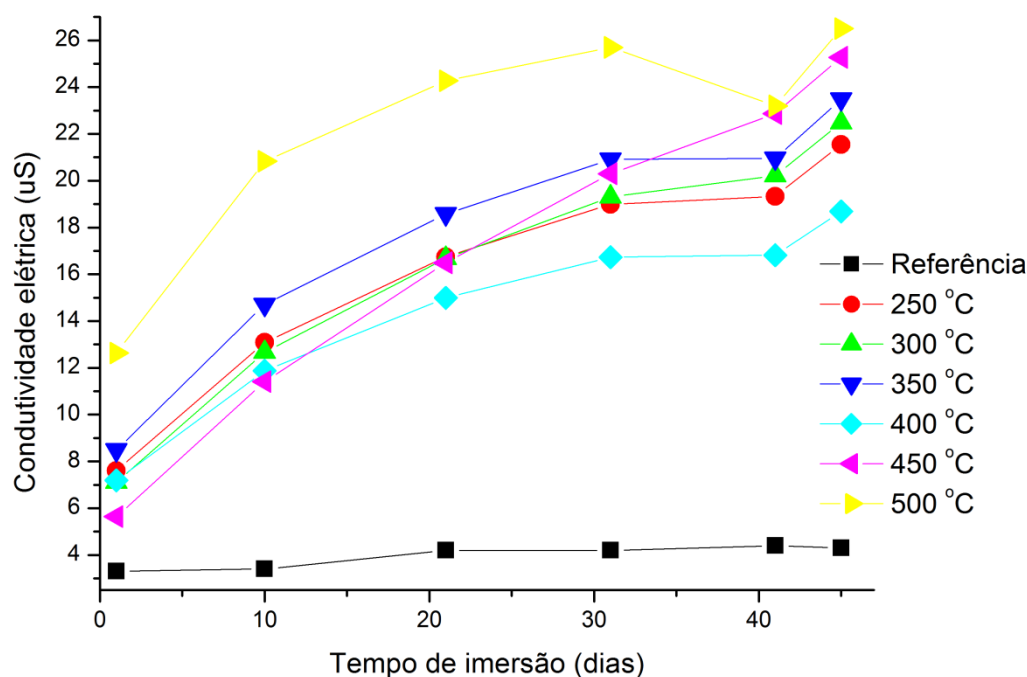
Fonte: Os autores

A condutividade elétrica de carvões depende da matéria-prima e da temperatura de pirólise. Todos os carvões produzidos entre 250 °C e 500 °C quando imersos em água apresentam um aumento da condutividade elétrica com o passar do tempo (Figura 4). Compreender a capacidade de lixiviação de sais solúveis em uma solução de carvão é importante uma vez que as altas taxas de aplicação de carvão no solo podem afetar plantas sensíveis a sais, sendo que soluções com uma concentração salina mais alta têm maior capacidade de conduzir eletricidade (SINGH *et al.*, 2017). As amostras pirolisadas em 450 °C apresentam comportamento anômalo, de condutividade elétrica em meio aquoso, com condutividade elétrica média de 5,64  $\mu\text{S}$  no 1º dia de imersão, a menor condutividade para todas as temperaturas de pirólise, e 25,27  $\mu\text{S}$  no 45º dia de imersão, a segunda maior condutividade elétrica. A biomassa formada por resíduos de *Pinus sp.*, é uma matriz complexa e heterogênea. Assim, a condutividade elétrica de carvões é altamente dependente de seu grau de carbonização e conseqüentemente da temperatura de pirólise (GABHI, KIRK E JIA, 2017). Os carvões produzidos em temperaturas de pirólise mais altas geralmente têm condutividade elétrica mais alta, conforme observado na Figura 4. Isso se deve, provavelmente, à perda de material volátil, resultando na concentração dos constituintes presentes na fração de cinzas, obtidos nas mais altas temperaturas (CANTRELL *et al.*, 2012). Quando o carvão proveniente de biomassa é aplicado a solos visando o sequestro de carbono, mantendo ou melhorando a fertilidade do solo,



é comumente denominado um biocarvão, podendo ser usado como corretivos de solo, contra patógenos ou micro-organismos, transportadores de inoculantes ou como adsorventes de diversos compostos (LEHMANN *et al.*, 2011). Um bom adsorvente para íons diversos e um promissor biocarvão para fertilizantes deve possuir elevada capacidade de interação entre a matriz carbônica e o meio aquoso, uma vez que grande parte das atividades que exigem adsorção e interação iônica ou molecular ocorre na presença de água. O uso de biocarvões aumenta a fertilidade do solo e a produção agrícola (LEHMANN, GAUNT E RONDON, 2006).

**Figura 4:** Relação entre a condutividade elétrica das amostras pirolisadas nas temperaturas de 250, 300, 350, 400, 450 e 500 °C imersas em meio aquoso a 25 °C e o tempo em dias de imersão.



Fonte: Os autores

Foram testadas as amostras de bio-óleo (B<sub>0</sub>) e de bio-óleo aquoso (B<sub>A</sub>) quanto à capacidade de inibir o desenvolvimento bacteriano. As amostras B<sub>A250</sub>, B<sub>O250</sub>, B<sub>A300</sub>, B<sub>O300</sub>, B<sub>A350</sub>, B<sub>O350</sub>, B<sub>A400</sub>, B<sub>O400</sub>, B<sub>A450</sub>, B<sub>O450</sub>, B<sub>O500</sub> e B<sub>A500</sub> apresentaram atividade antibacteriana, formando halos inibitórios, frente às cepas de bactérias *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Bacillus subtilis*. Foram testados os antibióticos norfloxacina, tetraciclina e eritromicina para que fosse possível comparar os resultados de inibição das amostras dos bio-óleos e dos bio-óleos aquosos obtidos nas diferentes temperaturas de pirólise.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 1, é possível observar que: a) para *Escherichia coli*: a amostra aquosa B<sub>A300</sub> apresentou a maior inibição média de 70,40 % quando comparada a inibição da norfloxacina e 72,52 % quando comparada a tetraciclina; a amostra



oleosa B<sub>O450</sub> apresentou a maior inibição média de 45,15 % quando comparada a inibição da norfloxacina e 46,50 % quando comparada a tetraciclina; b) Para *Staphylococcus aureus*: a amostra aquosa B<sub>A350</sub> apresentou a maior inibição média de 112,96 % quando comparada a eritromicina, 110,76 % quando comparada a inibição da norfloxacina e 54,31 % quando comparada a tetraciclina; a amostra oleosa B<sub>O350</sub> apresentou a maior inibição média de 101,98 % quando comparada a eritromicina, 100,00 % quando comparada a inibição da norfloxacina e 49,03 % quando comparada a tetraciclina; c) Para *Pseudomonas aeruginosa*: a amostra aquosa B<sub>A350</sub> apresentou a maior inibição média de 72,18 % quando comparada a eritromicina, 84,68 % quando comparada a inibição da norfloxacina e 90,74 % quando comparada a tetraciclina; a amostra oleosa B<sub>O350</sub> apresentou a maior inibição média de 60,24 % quando comparada a eritromicina, 70,68 % quando comparada a inibição da norfloxacina e 75,74 % quando comparada a tetraciclina; d) Para *Bacillus subtilis*: a amostra aquosa B<sub>A350</sub> apresentou a maior inibição média de 78,77 % quando comparada a inibição da norfloxacina e 225,94 % quando comparada a tetraciclina; a amostra oleosa B<sub>O350</sub> apresentou a maior inibição média de 62,86 % quando comparada a inibição da norfloxacina e 180,31 % quando comparada a tetraciclina; e) eritromicina não apresenta inibição para *Escherichia coli* e para o *Bacillus subtilis*. Foi testado o veículo (DMSO 1% e solução salina 99 %), como amostra referência, nas mesmas concentrações dos testes contendo as amostras de B<sub>O</sub> e B<sub>A</sub>, com diluições na ordem de 10<sup>-1</sup> e 10<sup>-2</sup>. Os testes indicaram que o veículo não apresentou atividade antimicrobiana.

Estudos têm demonstrado atividade antibacteriana de bio-óleo obtido por pirólise rápida de serragem de *Pinus* contra os patógenos *Bacillus cereus* e *Listeria monocytogenes*, de origem alimentar causadores de doenças (PATRA *et al.*, 2015). A capacidade antimicrobiana de bio-óleos de *Pinus* (HU E GHOLIZADEH, 2020; PATRA *et al.*, 2015) bem como de outras biomassas deve-se provavelmente a presença de compostos aromáticos, fenólicos, furanos e taninos originados durante o processo de pirólise (BEDMUTHA *et al.*, 2011; PATRA *et al.*, 2015; PHUKAN *et al.*, 2013). Dessa forma, bio-óleos originados a partir de biomassa residual podem ser potencialmente empregados no desenvolvimento de produtos com propriedades biológicas, visando o baixo risco ambiental (SEKAR *et al.*, 2021) com baixo custo de produção.



**Tabela 1:** Média do diâmetro em mm dos halos de inibição do desenvolvimento de cepas de *Escherichia coli* (EC), *Staphylococcus aureus* (SA), *Pseudomonas aeruginosa* (PA) e *Bacillus subtilis* (BS) dos experimentos realizados. Inibição dos bio-óleos gerados nas temperaturas de pirólise de 250 (B<sub>A250</sub> e B<sub>O250</sub>), 300 (B<sub>A300</sub> e B<sub>O300</sub>), 350 (B<sub>A350</sub> e B<sub>O350</sub>), 400 (B<sub>A400</sub> e B<sub>O400</sub>), 450 (B<sub>A450</sub> e B<sub>O450</sub>) e 500 (B<sub>O500</sub> e B<sub>A500</sub>) °C.

Amostra	EC (mm)	S <sup>2</sup>	S	CV (%)	SA (mm)	S <sup>2</sup>	S	CV (%)	BS (mm)	S <sup>2</sup>	S	CV (%)	PA (mm)	S <sup>2</sup>	S	CV (%)
B <sub>A250</sub>	12,50	9,25	3,04	24,33	15,00	2,25	1,50	10,00	13,83	22,33	4,72	34,16	11,17	3,08	1,75	15,72
B <sub>O250</sub>	10,67	22,58	4,75	44,55	16,33	20,58	4,54	27,78	13,00	1,00	1,00	7,69	13,67	12,58	3,55	25,95
B <sub>A300</sub>	24,17	66,08	8,13	33,64	18,50	0,75	0,87	4,68	14,67	16,08	4,01	27,34	13,33	0,083	0,29	2,16
B <sub>O300</sub>	14,33	0,33	0,58	4,03	14,83	1,33	1,15	7,782	15,00	5,25	2,29	15,27	9,83	0,58	0,76	7,77
B <sub>A350</sub>	17,50	3,25	1,80	10,30	18,83	9,08	3,01	16,00	21,17	0,58	0,76	3,61	17,33	0,58	0,76	4,41
B <sub>O350</sub>	13,00	39,25	6,26	48,19	17,00	4,75	2,18	12,82	17,67	2,083	1,44	8,17	13,83	0,33	0,58	4,17
B <sub>A400</sub>	16,50	6,25	2,50	15,15	18,25	5,06	2,25	12,33	19,75	5,06	2,25	11,39	13,75	0,06	0,25	1,82
B <sub>O400</sub>	14,00	4,00	2,00	14,28	16,50	0,00	0,00	0,00	15,00	4,00	2,00	13,33	8,75	10,56	3,25	37,14
B <sub>A450</sub>	16,83	2,33	1,53	9,07	18,00	4,75	2,18	12,11	19,00	4,75	2,18	11,47	12,67	0,58	0,76	6,03
B <sub>O450</sub>	15,50	6,75	2,60	16,76	15,33	2,58	1,61	10,48	13,33	2,33	1,53	11,46	9,33	0,58	0,76	8,18
B <sub>A500</sub>	16,00	3,00	1,73	10,82	16,17	0,58	0,76	4,72	17,83	2,08	1,44	8,09	12,83	1,08	1,04	8,11
B <sub>O500</sub>	11,66	6,08	2,47	21,14	16,33	1,58	1,26	7,70	14,83	20,08	4,48	30,21	12,17	8,08	2,84	23,37
Eritromicina	0,00	0,00	0,00	0,00	16,67	8,33	2,89	17,32	29,33	65,33	8,08	27,55	0,00	0,00	0,00	0,00



<b>Norfloxacin</b>	34,33	1,33	1,15	3,36	17,00	3,00	1,73	10,19	25,00	27,00	5,20	20,78	22,00	192,00	13,86	62,98
<b>Tetraciclina</b>	33,33	0,33	0,58	1,73	34,67	16,33	4,041	11,66	23,33	33,33	5,77	24,74	7,67	1,33	1,15	15,06

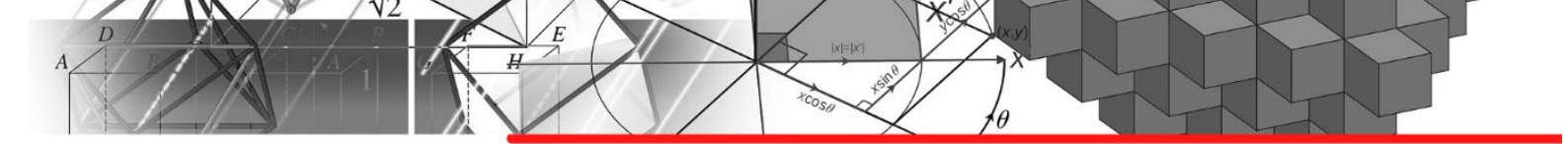
S<sup>2</sup>: variância. S: desvio padrão. CV (%): coeficiente de variação. Equações disponíveis em:  
Nicolini, Casagrande e Jesus (2013)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados de rendimento gravimétrico indicam que quanto maior a temperatura de pirólise da biomassa de *Pinus* sp., menor o rendimento gravimétrico em carvão (R<sub>GMP</sub>) e em bio-óleo (R<sub>GGC</sub>). A temperatura de pirólise de resíduos da biomassa de *Pinus* sp. em atmosfera redutora com equivalências nos rendimentos em R<sub>GMP</sub> e em R<sub>GGC</sub> ocorre na temperatura de 350 °C, com R<sub>GMP</sub> médio de 34,99 % e R<sub>GGC</sub> médio de 34,91 %. Ainda se observa que quanto maior a temperatura de pirólise maior será o rendimento em carbono fixo do material pirolisado (T<sub>CFMP</sub>) e menor será o teor de materiais voláteis do material pirolisado (T<sub>MVMP</sub>), sendo que o maior T<sub>CFMP</sub> foi obtido para carvões a 500 °C (67,08 %). De modo geral, a condutividade elétrica das amostras em meio aquoso aumenta com o aumento da temperatura de pirólise para resíduos de *Pinus* sp. As atividades antimicrobianas das amostras de B<sub>O</sub> e B<sub>A</sub> comparadas às atividades antimicrobianas dos antibióticos comerciais eritromicina, norfloxacin e tetraciclina demonstram que as amostras dos bio-óleos (B<sub>O</sub>) e dos bio-óleos aquosos (B<sub>A</sub>) obtidos a partir da pirólise de resíduos de *Pinus* sp. possuem capacidade para inibir o crescimento bacteriano das cepas de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Bacillus subtilis*.

## REFERÊNCIAS

- AITA, C., *et al.* Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 157-165, 2001.
- ANDRADE, A.M.D., *et al.* Pirólise de resíduos do coco-da-baía (*Cocos nucifera* Linn) e análise do carvão vegetal, **Revista árvore**, v. 28, p. 707-714, 2004.
- ARIF, M., *et al.* Biochar improves phosphorus use efficiency of organic-inorganic fertilizers, maize-wheat productivity and soil quality in a low fertility alkaline soil, **Field Crops Research**, v. 214, p. 25-37, 2017.



BEDMUTHA, R., *et al.* Insecticidal and bactericidal characteristics of the bio-oil from the fast pyrolysis of coffee grounds, **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 90, p. 224-231, 2011.

BORGES, R.M., *et al.* Uso de filtros de carvão ativado granular associado a microrganismos para remoção de fármacos no tratamento de água de abastecimento, **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, p. 709-720, 2016.

BOTREL, M.C.G., *et al.* Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*, **Revista Árvore**, v. 31, p. 391-398, 2007.

BRIDGWATER, A. Principles and practice of biomass fast pyrolysis processes for liquids, **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 51, p. 3-22, 1999.

CAMPOS, Â.D. Técnicas para produção de extrato pirolenhoso para uso agrícola, **Embrapa Clima Temperado-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, v. Circular 65, p. 1-8, 2007.

CANTRELL, K.B., *et al.* Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar, **Bioresource Technology**, v. 107, p. 419-428, 2012.

DE RAMOS, E.K.K., *et al.* Análise do tratamento térmico de tegumentos de *Araucaria* na presença de ureia em culturas de *Saccharomyces cerevisiae* e *Eruca sativa*, visando o seu uso potencial como insumo agrícola, **Revista Thema**, v. 19, p. 107-119, 2021.

DUBA, A.G. Electrical conductivity of coal and coal char, **Fuel**, v. 56, p. 441-443, 1977.

FIGUEIREDO, T., *et al.* **Decomposição de resíduos vegetais e nitrogênio mineral em solo no Cerrado**. In Embrapa Cerrados-Artigo em anais de congresso (ALICE). 2014. In: XX Congresso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo.

GABHI, R.S., KIRK, D.W., JIA, C.Q. Preliminary investigation of electrical conductivity of monolithic biochar, **Carbon**, v. 116, p. 435-442, 2017.

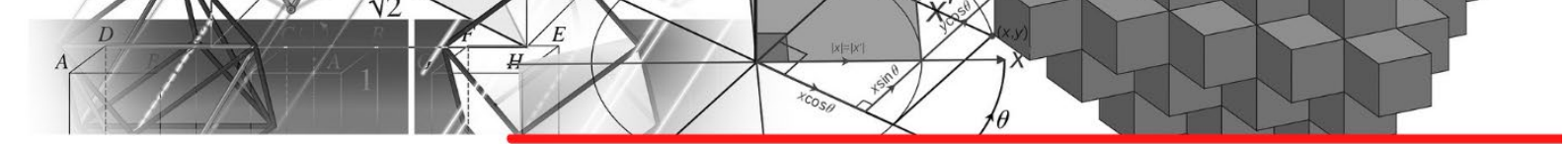
GIRELLI, G.C., *et al.* Reflectance and ultraviolet spectroscopy: predicting the relative growth of *Saccharomyces cerevisiae* in pine biomass, **Spectroscopy Letters**, v. 52, p. 91-97, 2019.

GIRODS, P., *et al.* Activated carbons prepared from wood particleboard wastes: Characterisation and phenol adsorption capacities, **Journal of Hazardous Materials**, v. 166, p. 491-501, 2009.

GUEDES, C.L.B., *et al.* Avaliação de biocombustível derivado do bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina, **Química Nova**, v. 33, p. 781-786, 2010.

GUIMARÃES, A.R., *et al.* Use of ultrasound to modify the pyrolyzed biomass of *Pinus* spp. and the implications for biological models, **Information Processing in Agriculture**, v. 5, p. 199-204, 2018.

HU, X., GHOLIZADEH, M. Progress of the applications of bio-oil, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 134, p. 110124, 2020.



KAVITHA, B., *et al.* Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review, **Journal of Environmental Management**, v. 227, p. 146-154, 2018.

LEHMANN, J., GAUNT, J., RONDON, M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review, **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 11, p. 403-427, 2006.

LEHMANN, J., *et al.* Biochar effects on soil biota – A review, **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, p. 1812-1836, 2011.

LEI, Z., *et al.* Study on solid waste pyrolysis coke catalyst for catalytic cracking of coal tar, **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 45, p. 19280-19290, 2020.

LYNCH, J., JOSEPH, S. **Guidelines for the development and testing of pyrolysis plants to produce biochar**, 2010, Disponível em: [https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI\\_Pyrolysis\\_Plant\\_Guidelines.pdf](https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI_Pyrolysis_Plant_Guidelines.pdf). Acesso em: 13 jul., 2021.

MORRISON, R.T., BOYD, R.N. **Química Orgânica**. 6 Ed., Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa, 1992.

NBR, A. 8112: Carvão vegetal—Análise imediata, **Rio de Janeiro**, v. -, p. 1986.

NICOLINI, K., CASAGRANDE, M., JESUS, A.D. **Pirólise de biomassa em baixas temperaturas**. Editora Átomo: Campinas, São Paulo, 2013.

OPAS **Organização Pan-Americana da Saúde - Resistência antimicrobiana**, OPAS/OMS. 2021, Disponível em: <https://www.paho.org/pt/topicos/resistencia-antimicrobiana>. Acesso: 26 jul. 2021. .

OYEBANJI, J., OLOLADE, Z. Fast pyrolysis of *Tectona grandis* wood for bio-oil: characterization and bactericidal potentials, **Global Journal of Research In Engineering**, v. 2017.

PATRA, J.K., *et al.* Bactericidal mechanism of bio-oil obtained from fast pyrolysis of *Pinus densiflora* against two foodborne pathogens, *Bacillus cereus* and *Listeria monocytogenes*, **Foodborne pathogens and disease**, v. 12, p. 529-535, 2015.

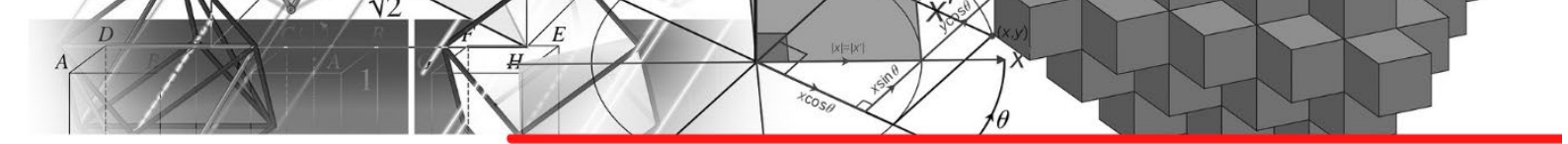
PATRA, J.K., *et al.* Volatile compounds and antioxidant capacity of the bio-oil obtained by pyrolysis of Japanese Red Pine (*Pinus densiflora* Siebold and Zucc.), **Molecules**, v. 20, p. 3986-4006, 2015.

PAVINATO, P.S., ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 911-920, 2008.

PHUKAN, M.M., *et al.* Assessment of antimicrobial activity of bio-oil from *Pongamia glabra*, *Mesua ferrea* and *Parachlorella* spp. deoiled cake, **International Journal of Pharma and Bio Sciences**, v. 4, p. 910-918, 2013.

ROSZAK, D., COLWELL, R. Survival strategies of bacteria in the natural environment, **Microbiological Reviews**, v. 51, p. 365-379, 1987.





SEJAS, L.M., *et al.* Avaliação da qualidade dos discos com antimicrobianos para testes de difusão disponíveis comercialmente no Brasil, **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, v. 39, p. 27-35, 2003.

SEKAR, M., *et al.* A review on the pyrolysis of algal biomass for biochar and bio-oil – Bottlenecks and scope, **Fuel**, v. 283, p. 119190, 2021.

SHREVE, R., BRINK, J. **Indústria de processos químicos**. 4 Ed., Editora Guanabara Koogan SA: Rio de Janeiro, 1997.

SINGH, B., *et al.*, Biochar: A guide to analytical methods. Chapter 3: Biochar pH, electrical conductivity and liming potential. 2017, University of Sydney: CSIRO PUBLISHING.

SOARES, V.C., *et al.* Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades, **Cerne**, v. 21, p. 191-197, 2015.

SOARES, V.C., *et al.* Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto, **Revista Árvore**, v. 38, p. 543-549, 2014.

TRABULSI, L.R., ALTERTHUM, F. **Microbiologia**. 5ª Ed., Atheneu: São Paulo, 2008.

VAMVUKA, D., *et al.* Pyrolysis characteristics and kinetics of biomass residuals mixtures with lignite, **Fuel**, v. 82, p. 1949-1960, 2003.

VELLA, M., *et al.* Influência da velocidade de carbonização da madeira nos rendimentos e nas propriedades do carvão produzido, **IPEF, Piracicaba**, v. 41, p. 42, 1989.

YANG, Q., *et al.* Prospective contributions of biomass pyrolysis to China's 2050 carbon reduction and renewable energy goals, **Nature Communications**, v. 12, p. 1-12, 2021.

YODER, J., *et al.* Economic tradeoff between biochar and bio-oil production via pyrolysis, **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 1851-1862, 2011.

ZANQUETTI, A., *et al.* Influência do tratamento hidrotérmico na energia de *band gap* de carvões de *Eucalyptus* spp, **Revista Thema**, v. 15, p. 25-33, 2018.



# CAPÍTULO 12

## DESEMPENHO DE REATOR UASB NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE LACTICÍNIOS

DOI: 10.47402/ed.ep.c202176311660

**Juliana Salomão Maria**, Mestre em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da UAN, Angola

**Anabela da Graça Alexandre Leitão**, Doutor em Engenharia Química, FEUP e Professora Universitária, Faculdade de Engenharia, UAN, Angola

**Ramiro José Espinheira Martins**, Doutor em Engenharia Química, FEUP e Professor Universitário, IPB, Portugal

### RESUMO

A descarga de águas residuais sem tratamento nos ecossistemas aquáticos ainda é bastante frequente nos países em desenvolvimento, como é o caso de Angola. A aplicação de um reator de leito de lamas de escoamento ascendente (UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket) apresenta-se como uma alternativa viável a ser adoptada, atendendo às características do efluente doméstico/industrial a tratar e as necessidades económicas locais. Neste contexto, desenvolveu-se um estudo com uma tecnologia de tratamento anaeróbio usando um reator UASB, analisando a sua eficácia relativamente à remoção de matéria orgânica e sólidos, avaliando a aplicação de diferentes cargas volumétricas, sob condições próximas das reais, numa instalação piloto laboratorial. O reator UASB foi construído em PVC com configuração em "Y" e volume útil de 12 L. Registaram-se eficiências de remoção de 76%, 79% e 88% para CQO, CBO<sub>5</sub> e SST, respetivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reator UASB, Efluente Indústria de Lacticínios, Remoção de Matéria Orgânica, Tratamento Efluentes em Angola.

### INTRODUÇÃO

A água é um dos principais fatores de desenvolvimento socioeconómico, de coesão social e de promoção ambiental, pelo que é fulcral a prevenção da poluição, proteção e a melhoria da qualidade da água na política de desenvolvimento sustentável. Neste âmbito torna-se relevante a adequação do planeamento do tratamento de efluentes domésticos/industriais e das infra-estruturas de saneamento básico ao alcance de todo o ser humano, visando a melhoria das condições ambientais e da saúde pública. Devido ao aumento do consumo de água, consequência do crescimento demográfico e industrial, a contaminação das fontes utilizadas para produção de água potável por descargas impróprias, com quantidade significativa de resíduos sólidos, bem como elevada carga orgânica, causa a destruição dos ecossistemas pela poluição hídrica o que origina grandes problemas ambientais (ALVES, 2010).



A descarga de águas residuais sem tratamento, no meio hídrico, ainda é bastante frequente nos países em desenvolvimento, dada a deficiência na produção local de equipamento mecânico, bem como o custo económico que uma unidade de tratamento implica, a que acresce a carência de recursos humanos qualificados nesta área. Assim, é imperioso o desenvolvimento e aplicação de tecnologias de tratamento simples, que minimizem os custos e a redução do consumo energético. A aplicação de um reator de leito de lamas de escoamento ascendente (UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket) apresenta-se como uma alternativa viável a ser adotada, atendendo às características do efluente doméstico/industrial a tratar e necessidades económicas locais (CUETOS, 2008).

## ENQUADRAMENTO E APRESENTAÇÃO DO PROJETO

A utilização de reatores UASB no tratamento de efluentes domésticos / industriais é uma realidade em diversos países. O processo anaeróbio recorrendo à utilização de um reator UASB apresenta vantagens relativamente aos processos aeróbios convencionais, com especial relevância para países com clima quente, caso da generalidade das localidades em Angola. Neste contexto, estamos perante um sistema de tratamento que se caracteriza por: (1) Sistema compacto, que requer uma área reduzida; (2) Baixo custo de implantação e de operação; (3) Volume de lamas geradas é reduzido; (4) Praticamente sem custos energéticos; (5) Eficiência de remoção de CBO e CQO satisfatória (65-75%); (6) Sistema reage adequadamente após períodos de paragem; (7) Lamas em excesso com elevada concentração de sólidos.

A digestão anaeróbia (DA) tem um vasto potencial de aplicação e vantagens significativas em efluentes industriais com elevada carga orgânica. Acresce um conjunto de vantagens no caso do reator UASB, a destacar: operação com cargas volumétricas maiores que as admitidas por sistema de mistura completa, o que se traduz em reatores com menor volume; não exige mistura, eliminando custos de equipamentos e de operação; não é necessário um tanque de sedimentação após a unidade de DA.

Apesar de todas estas vantagens, este processo normalmente não produz um efluente com qualidade que se enquadre na legislação que regulamenta a descarga de águas residuais, pelo que necessita de ser sujeito a um pós-tratamento.

A digestão anaeróbia apresenta outra mais-valia significativa: a produção de biogás (mistura de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ ), que se traduz numa valorização energética do processo gerando energia a partir da queima do metano.



## DIGESTÃO ANAERÓBIA – APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

A digestão anaeróbia, consiste num processo de decomposição da matéria orgânica do efluente, na ausência de oxigénio. Neste processo, a transformação da matéria orgânica é realizada pela alimentação de microrganismos anaeróbios baseados numa série de reações químicas sequenciais, desencadeadas por uma cultura diversificada de microrganismos anaeróbios. É promovida a redução das moléculas orgânicas mais complexas, como lipídeos, carboidratos e proteínas, a estruturas moleculares mais simples como aminoácidos, açúcares, ácidos gordos, aldeídos e álcoois; em seguida, por fermentação e oxidação anaeróbia são convertidos em produtos finais,  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ .

O processo global compreende quatro (4) fases, em que a conversão da matéria orgânica ocorre de acordo com a seguinte sequência: Hidrólise, Acidogénese, Acetogénese e Metanogénese.

Vários fatores influenciam o desempenho do processo de digestão anaeróbia no tratamento de águas residuais. Destacam-se a temperatura, o pH, a alcalinidade, a presença de nutrientes, capacidade de assimilação de carga tóxicas, transferência de massa, sobrecargas hidráulicas e a atividade metanogénica (MYINT, 2007).

### ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

O objetivo do tratamento das águas residuais é proteger a saúde pública e promover, de uma forma económica e socialmente aceitável, a preservação dos recursos hídricos, evitando a sua contaminação. A legislação ambiental Angolana no que se refere ao tratamento de águas residuais e à qualidade dos efluentes resultantes é baseada em padrões de qualidade expressos por Valores Limite de Emissão (VLE), conforme define o Decreto Presidencial nº 261/11 de 6 de Outubro.

### MATERIAIS E MÉTODOS

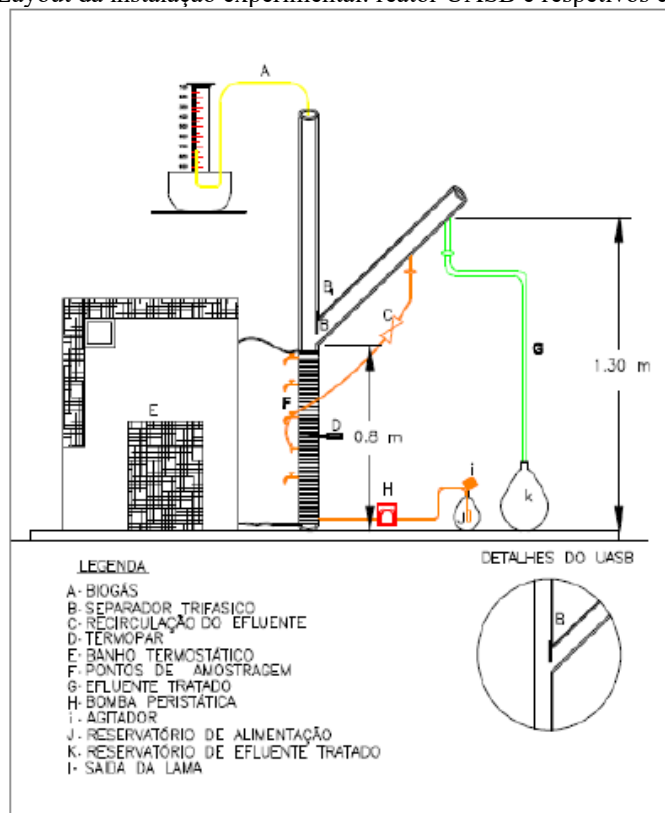
#### INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL

A instalação experimental é constituída por um reator UASB com agitador manual, banho termostático, termómetro, medidor de gás e sistema de alimentação, constituído por um reservatório da alimentação e uma bomba peristáltica.

*Reator UASB:* foi construído um reator UASB em escala laboratorial, a partir de tubos de PVC com diâmetro de 110 mm, com uma altura útil de 1300 mm e volume útil de 12,35 L.

O separador de fases é em forma de “Y” e situa-se a 1,12 m do fundo do reator. O reator está dotado de seis pontos de amostragem; três ao longo do corpo vertical do reator para recolha de amostras e, duas na parte inferior, uma para a entrada da alimentação (afluente) e a outra para recirculação do efluente (ligada à torneira situada na extensão em “Y”) (Figura 1).

**Figura 1:** Layout da instalação experimental: reator UASB e respetivos componentes.



**Fonte:** Autoria própria.

Na fase inicial deste estudo não houve recirculação do efluente. A bomba de alimentação (H) foi programada para funcionar a cada duas horas (8 vezes durante 4 minutos e 4 vezes 3 minutos), a um caudal fixo de 23 mL/min, o que perfaz um caudal diário de alimentação de 1012 mL. O reator foi envolto por tubo onde circula água mantida a 35 °C por intermédio de um banho termostático (E), de modo a proporcionar condições ideais de temperatura para o processo de digestão anaeróbia. No topo do reator foi instalado um agitador manual, para manter a mistura homogénea, bem como minimizar o risco de formação de “zonas mortas”.

O reator UASB foi projetado para operar em estado estacionário de acordo com os parâmetros apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Parâmetros de projeto do reator UASB.

Parâmetro de operação	Valor adotado/Calculado
Caudal (L/d)	24,7
COV (kg CQO/m <sup>3</sup> .d)	2 e 4
Massa CQO (g CQO/d)	24,7 e 49,4
Temperatura (°C)	35
TRH (h)	12
Velocidade ascensional (m/h)	0,8
Volume do reator (L)	12,35

Fonte: Autoria própria.

## EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE LACTICÍNIOS

O efluente utilizado no presente estudo é proveniente da Lactiangol, unidade industrial de laticínios, situada em Luanda. A colheita do efluente foi feita no final da linha de produção de leite pasteurizado, e utilizaram-se recipientes de polietileno para o seu transporte e armazenamento. Antes da colheita, os recipientes foram lavados com o próprio efluente. Após a colheita, o material foi encaminhado para o LESRA - Laboratório de Engenharia da Separação, Reacção Química e Ambiente.

## INÓCULO

Por forma a diminuir o período de arranque do sistema, procedeu-se à inoculação do reator com 6,5 litros de lamas anaeróbias digeridas provenientes da ETAR da Odebrecht, localizada na Talatona. Isto representa cerca de 52,6% do volume útil do reator, e aproximadamente a uma altura do leito de lamas de 60 cm; as lamas apresentavam uma densidade de 1,023 g/cm<sup>3</sup>, de acordo com os valores recomendados na literatura (1,020 - 1,040 g/cm<sup>3</sup>).

## OPERAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DO REATOR UASB

O reator UASB foi operado durante 122 dias, Novembro de 2014 a Março de 2015.

A alimentação do reator era preparada duas vezes por semana. O processo funcionou até ao 60º dia sem recirculação do efluente. A partir do 61º dia funcionou com recirculação para aumentar a biomassa e estabilizar a temperatura no interior do reator (houve perda de biomassa devido a ruptura do tubo da bomba de alimentação o que provocou o derrame de uma quantidade considerável de lama e um aumento da temperatura até aos 40 °C).

Os parâmetros físico-químicos de controlo do reator e avaliação do desempenho do sistema de tratamento, bem como a frequência de amostragem são apresentados na Tabela 2.

As determinações foram realizadas no LESRA, e usados os métodos de analíticos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

**Tabela 2:** Programa de monitorização do processo de digestão anaeróbia.

Parâmetro	Frequência de Amostragem		
	Entrada	Reator	Saída
pH	Diário	Diário	--
Temperatura	Diário	Diário	--
Alcalinidade	3x semana	3x semana	--
CBO <sub>5</sub>	Semanal	--	Semanal
CQO	2x semana	--	2x semana
N Total	Semanal	--	Semanal
P Total	Semanal	--	Semanal
SST	Semanal	--	Semanal
ST	--	Semanal	--
SV	--	Semanal	--

Fonte: Autoria própria.

## CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE A TRATAR

Foi realizada a caracterização do efluente bruto da Lactiangol para um conjunto de parâmetros (idêntico ao da Tabela 2), de novembro 2014 a março de 2015. Foram registados para a CBO<sub>5</sub> valores entre 1700 e 6100 mg O<sub>2</sub>/L, CQO [10000-18500 mg O<sub>2</sub>/L], SST [195-290 mg/L], N Total [15-36 mg N /L], P Total [9-68 mg P/L], Alcalinidade [215-370 mg/L CaCO<sub>3</sub>]; e o pH variou na gama 7,3 a 7,7. A caracterização efetuada revelou uma elevada variabilidade na composição do efluente bruto. De forma a eliminar e minorar os efeitos destas diferenças no decurso dos ensaios, o efluente bruto foi diluído de modo a preparar uma água residual com composição semelhante, com que se alimentou o reator UASB.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização inicial da água residual da fábrica de lacticínios, permite concluir que o efluente gerado apresenta uma carga orgânica significativa, associada a uma elevada variabilidade.

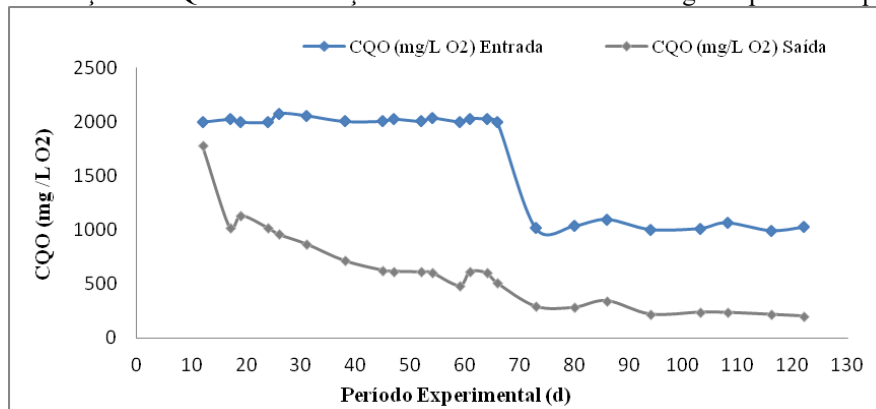
O sistema apresentou valores de pH adequados ao processo, não sendo necessária a sua correção, o que significa minimização dos custos de operação.

Em função dos resultados obtidos ao longo do período experimental, o tempo de residência hidráulico adoptado de 12 horas, conduziu a um bom desempenho.



Para operação do reator com uma carga orgânica volumétrica (COV) de 4 kg CQO/m<sup>3</sup>.d (até ao 66º dia de operação), a eficiência de remoção da CQO registou valores pouco interessantes, com variação no intervalo 11% a 76%. De salientar que o valor médio (44%) é fortemente condicionado pela eficiência registada até ao 12º dia de operação, em torno de 10% (Figura 2); poderemos apontar como explicação, um período insuficiente para a adaptação da população de microrganismos.

**Figura 2:** Variação da CQO da alimentação e do efluente tratado ao longo do período experimental.



**Fonte:** Autoria própria.

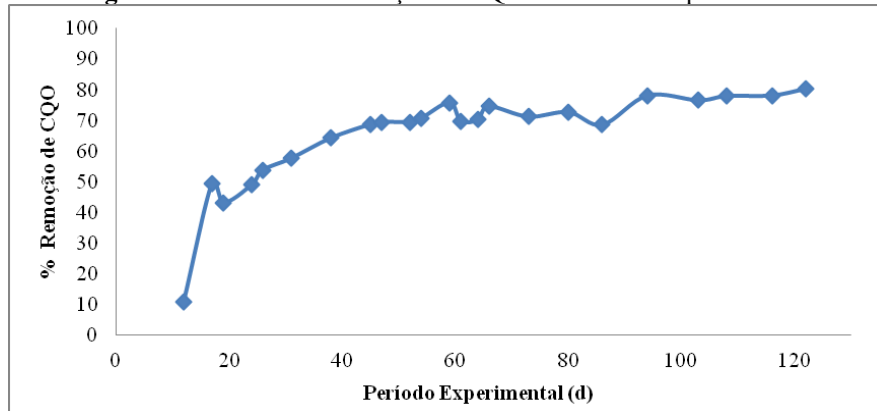
Após os 66 dias de operação do reator UASB, a COV foi reduzida para 2 kg CQO/m<sup>3</sup>.d, variando a CQO do afluente ao reator em torno de 1000 mg O<sub>2</sub>/L e a do efluente de saída entre 202 e 345 mg O<sub>2</sub>/L. Como mostra a Figura 3, a diminuição da COV aplicada, mostrou um acréscimo significativo da matéria orgânica removida (eficiência de remoção 71-80%).

Relativamente à eficiência de remoção de CBO<sub>5</sub>, variou entre 69% e 89%, para COV de 4 kg CQO/m<sup>3</sup>.d. Não ocorreu alteração da eficiência quando se passou a operar o reator com 2 kg CQO/m<sup>3</sup>.d (Figura 4). Conclui-se que o reator UASB alcançou uma eficiência de remoção bastante interessante, comparando com dados da literatura. Num estudo similar, Tawfik et al. (2008), no tratamento de efluentes derivados de lacticínios por digestão anaeróbia, registaram valores de remoção de CBO<sub>5</sub> em torno de 75%.



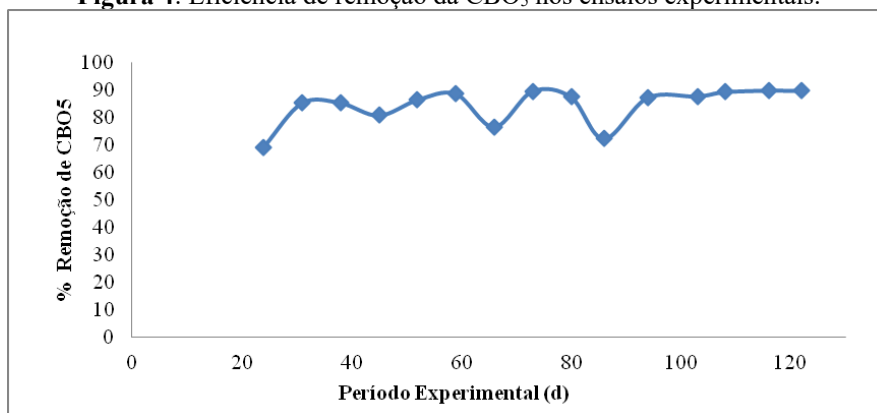


**Figura 3:** Eficiência de remoção da CQO nos ensaios experimentais.



Fonte: Autoria própria.

**Figura 4:** Eficiência de remoção da CBO<sub>5</sub> nos ensaios experimentais.

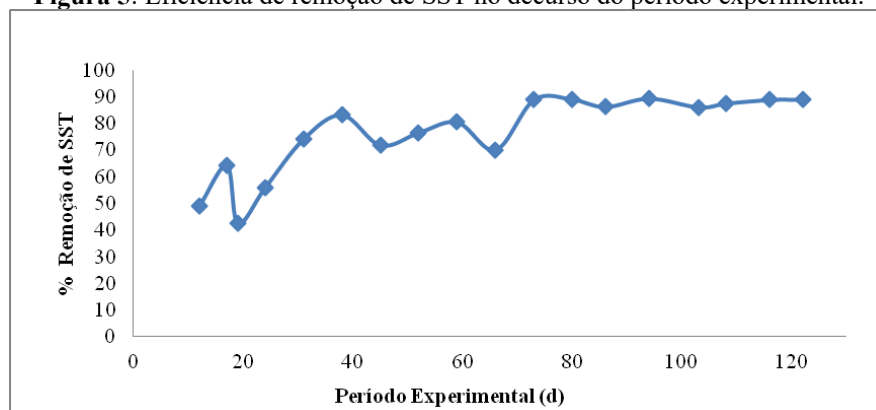


Fonte: Autoria própria.

No que se refere à remoção de SST, foram registadas eficiências bastante satisfatórias a partir do 40º dia de operação, variando entre os 80 e 90% (Figura 5). Estes resultados são da mesma ordem de grandeza dos reportados por Bruno e Oliveira (2007), no tratamento de efluente de café por via húmida usando um UASB (remoção de 82% dos SST).

No que respeita à razão SV/ST das lamas no interior do reator, foi registado um valor médio de aproximadamente 0,65; este valor relativamente elevado está associado à predominância de matéria orgânica nas lamas, e é indicativo de uma significativa população de microrganismos responsável pelo processo de digestão anaeróbia.

**Figura 5:** Eficiência de remoção de SST no decurso do período experimental.



Fonte: Autoria própria.

## CONCLUSÕES

Uma análise global aos resultados, permite concluir que o desempenho do reator UASB no tratamento do efluente da indústria de laticínios foi satisfatório.

A caracterização do efluente da indústria de laticínios, confirma uma elevada variabilidade e uma carga orgânica significativa.

O tempo de residência hidráulico adoptado - 12 horas, revelou-se adequado face aos resultados alcançados.

A eficiência de remoção de CQO foi maior para a COV de 2 kg CQO/(m<sup>3</sup>.dia), registando após um período inicial de adaptação da população microbiana, valores no intervalo 71-80%.

A remoção de CBO foi praticamente independente da COV aplicada, e variou entre 70 e 90%.

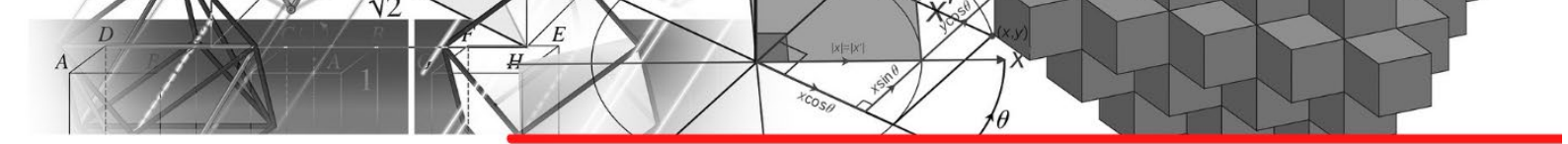
Valores bastante significativos, 80-90% de remoção, foram registados para os SST.

O volume de biogás produzido esteve muito aquém dos valores reportados na literatura; vertente a otimizar no futuro, pois permitirá uma valorização económica importante.

## REFERÊNCIAS

ALVES, C. Tratamento de Águas de Abastecimento. Porto: Publindústria Editora, 2010.

APHA-American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, 2005.



BRUNO, M.; OLIVEIRA, R. Tratamento anaeróbio de águas residuais do beneficiamento de café por via húmida em reatores UASB em dois estágios. Dissertação de Mestrado em Microbiologia Agropecuária, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. 2007.

CUETOS, M. Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). *Biochemical Eng. J.*, v. 40(1), p. 99-106, 2008.

MYINT, M. Anaerobic fermentation of cattle manure. Modeling of hydrolysis and acidogenesis. *Water Research*, v. 41, p. 323-332, 2007.

TAWFIK, A.; SOBHEY, M; BADAWEY, M. Treatment of a combined dairy and domestic wastewater in an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor followed by activated sludge (AS system). *Desalination J.*, v. 227, p. 167-177, 2008.



# CAPÍTULO 13

## CARACTERIZAÇÃO GEMOLÓGICA DA ESMERALDA PROVENIENTE DO SÍTIO PANATIS, ENTRE OS MUNICÍPIOS DE TENENTE ANANIAS E MARCELINO VIEIRA, NO RIO GRANDE DO NORTE

**Bianca de Oliveira Nascimento**, Bacharelanda em Gemologia, da Universidade Federal do Espírito Santo

**Danilo Silvestre Corrêa**, Bacharelando em Gemologia, da Universidade Federal do Espírito Santo

**Felipe Carlos Pereira**, Bacharel em Gemologia, Ignius Laboratório Gemológico LTDA

**Daniela Teixeira Carvalho de Newman**, Doutora em Ciências Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo

**José Albino Newman Fernández**, Doutor em Ciências Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo

### RESUMO

A esmeralda é a variedade gemológica do berilo mais cobiçada no mercado de gemas no mundo. As amostras de esmeraldas da região Nordeste do Brasil são conhecidas desde meados do século XX. Na região desse estudo as esmeraldas estão inseridas no Embasamento Rio Piranhas, onde encontram-se hospedadas em flogopititos, posicionados entre pegmatitos e serpentinitos. Este trabalho foi realizado com o intuito de realizar a caracterização gemológica da esmeralda proveniente do Sítio Panatis/RN, de forma a reunir dados que possibilitem sua caracterização e diferenciação quando comparado a outras esmeraldas dessa região e estado, como também com a principal finalidade de apresentar seu potencial gemológico. A metodologia consiste na análise laboratorial de 30 amostras de esmeraldas provenientes de uma ocorrência localizada entre os municípios de Tenente Ananias e Marcelino Vieira. Duas amostras foram lapidadas e 28 foram utilizadas em chapas bipolidas, sendo essas chapas confeccionadas em diferentes orientações, segundo o eixo cristalográfico *c*. Os dados ópticos e mineralógicos obtidos são compatíveis com os dados teóricos descritos na literatura, não tendo sido observado nenhum comportamento anômalo quanto à caracterização microscópica, tem-se como principais estruturas, a presença frequentes de cavidades de inclusões fluidas bifásicas compostas de gás e líquido, algumas apresentando coloração da fase gasosa escura, o que pode ser indicativo da presença de teores de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> associados, cavidades de inclusões fluidas trifásicas, compostas por dois líquidos imiscíveis, micrólitos, além de fraturas intragranulares pseudo-secundárias, fraturas transgranulares epigenéticas preenchidas por óxidos. Também é de ocorrência comum a presença de feições de crescimento, tais como linhas e planos de crescimento, zonação de cor e de diafanidade. Quanto ao potencial gemológico, a partir da avaliação dos exemplares lapidados, foram obtidas notas 7,8 e 7,2 respectivamente, o qual configura uma classificação comercial Boa, as amostras apresentam coloração variando do verde médio ao verde intenso, gerando gemas lapidadas de 2,2 ct e 3,1ct, o que demonstra um alto potencial de utilização gemológica das amostras provenientes desta região.

**PALAVRAS-CHAVE:** Esmeralda, Sítio Panatis, Potencial Gemológico, Petrografia De Inclusões.



## INTRODUÇÃO

A esmeralda é a variedade gemológica do berilo de cor verde-grama, contendo cromo e/ou vanádio, como elementos cromóforos. Os primeiros depósitos de esmeralda foram encontrados no Egito, atualmente, os principais países produtores são Colômbia, Zimbábue, Zambia, Tanzânia, Madagascar e Brasil (BRANCO, 2008).

A busca por esmeralda no Brasil vem desde o período colonial, durante as Entradas e as Bandeiras. Na região Nordeste, os depósitos de esmeralda de importância econômica são conhecidos desde meados do século XX, especialmente na Bahia, onde foi encontrado o primeiro depósito de esmeralda do Brasil. (SAUER, 1992; SANTIAGO, 2018).

Há ainda, depósitos de relevância econômica localizados no Rio Grande do Norte, estado de origem das amostras coletadas para objeto de estudo do presente trabalho. (SANTIAGO, 2018).

A área de estudo de onde foram coletadas as 30 amostras alvo desta pesquisa, se localiza na região rural entre os municípios de Tenente Ananias e Marcelino Vieira, no Sítio Panatis, tendo como coordenada geográfica as posições em latitude e longitude respectivamente como: 6°23'21"S 38°13'07"W.

MORAES (1999) descreve três áreas principais, com ocorrência de gemas, no Rio Grande do Norte, denominadas, respectivamente de Distritos Gemológicos Centro-Sul, Sul e Extremo Sudoeste. O Distrito Extremo Sudoeste, engloba os municípios de Tenente Ananias, Marcelino Vieira e Paraná, trata-se de localidades conhecidas tradicionalmente pela produção de água-marinha e amazonita de excelente qualidade gemológica. Tais mineralizações encontram-se associadas a diques de pegmatitos homogêneos, simples a pouco diferenciados. Tais corpos pegmatíticos pertencem à Província Pegmatítica Borborema-Seridó e neste trabalho insere-se na Faixa Seridó, do Domínio Rio Piranhas-Seridó. Esta província está situada na região Seridó dos Estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba. Os depósitos de Tenente Ananias e Lajes Pintadas/São Tomé, inserem-se no Embasamento Rio Piranhas (Figura 1).

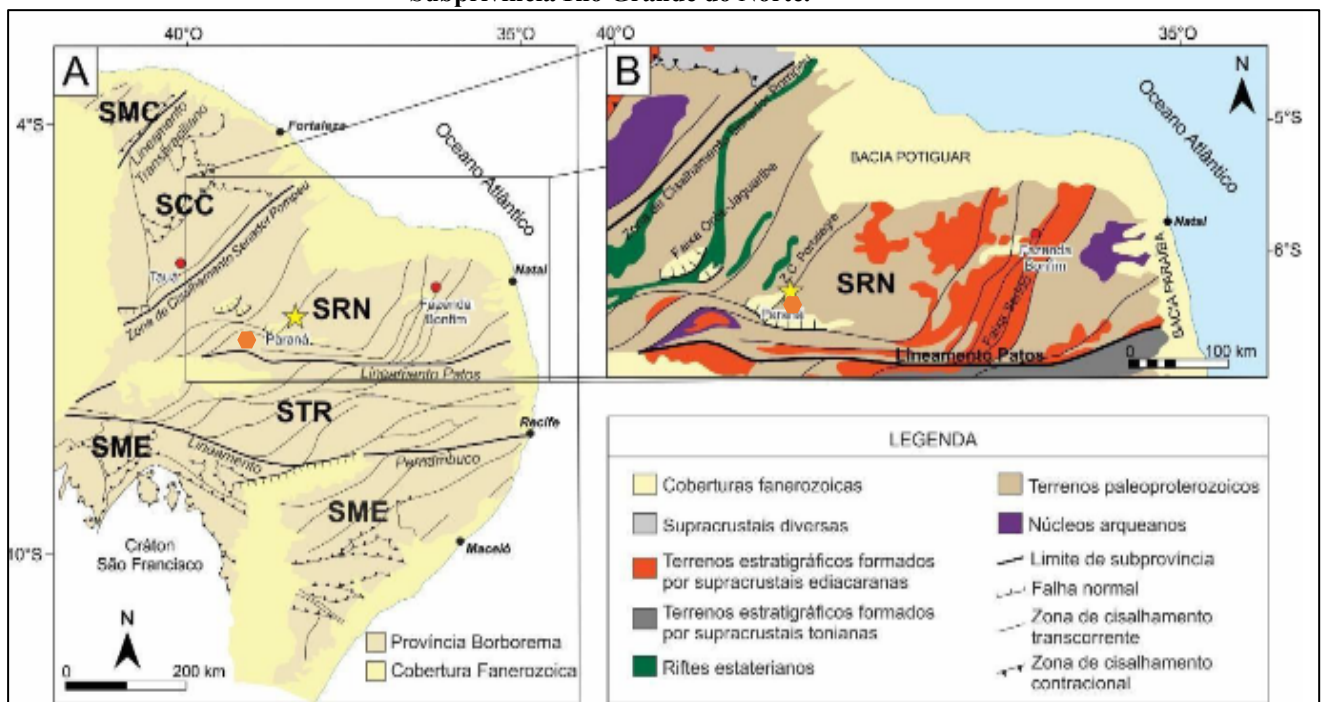
A esmeralda é produzida em menor escala e esporadicamente, por meio do processo de garimpagem, nesta região, onde se encontra hospedados, em flogopititos, posicionados entre pegmatitos e serpentinitos, destacando-se as ocorrências localizadas no município de Paraná (Figura 2).



MORAES (1999) descreveu sete ocorrências de biotitito / flogopitito hospedeiro, partindo da região de Pitombeiras, até Marcelino Vieira, formando um *trend* descontínuo com aproximadamente 20 km de extensão, englobando as regiões dos municípios de Paraná e Tenente Ananias.

FRANÇA (2005) agrupou os depósitos de esmeralda da faixa Paraná / Marcelino Vieira / Francisco Dantas, no Distrito Metalogenético Nordeste Setentrional.

**Figura 1 – Divisão Tectônica da Província de Borborema (SMC):Subprovíncia Médio Coreaú; (SRN): Subprovíncia Rio Grande do Norte; (SCC): Subprovíncia Ceará Central; (STR): Subprovíncia Transversal (SME): Subprovíncia Meridional. (A) subdivisão tectônica; (b) localização da área de estudo Subprovíncia Rio Grande do Norte.**

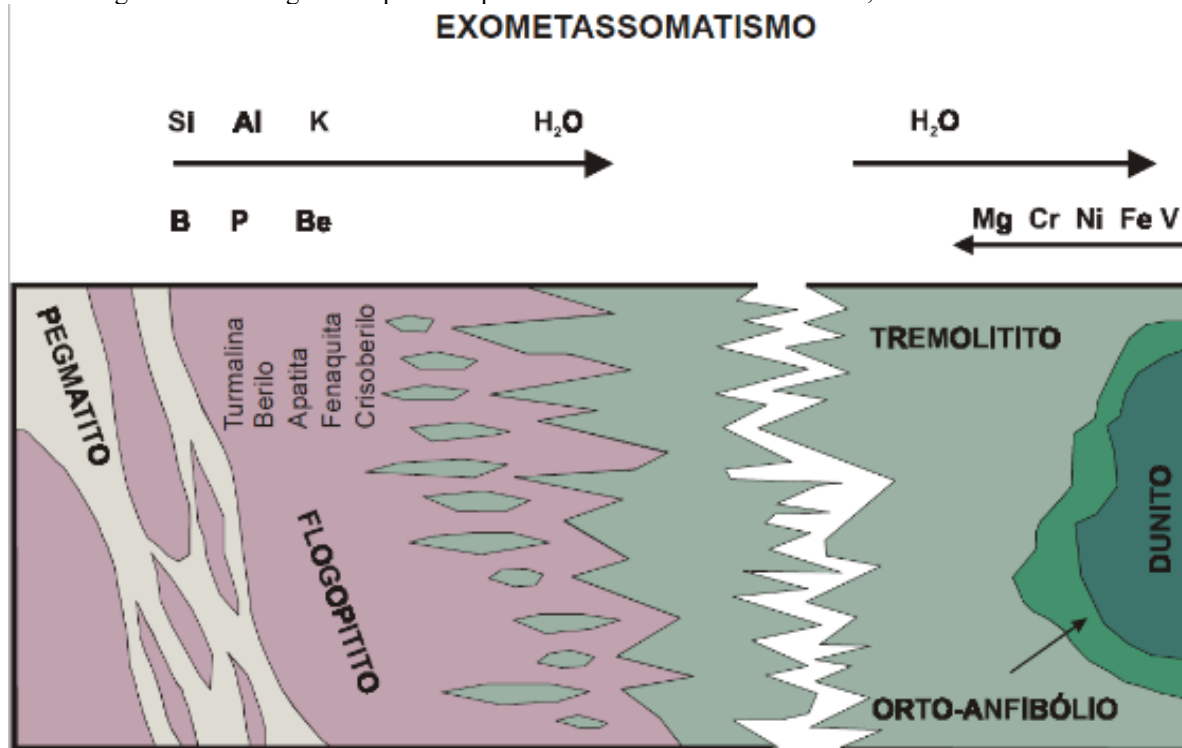


Fonte: Modificado de ARAÚJO-NETO (2018).

Área de estudo



Figura 2: Modelo genético para o depósito de esmeralda do Sítio Panatis, Rio Grande do Norte.



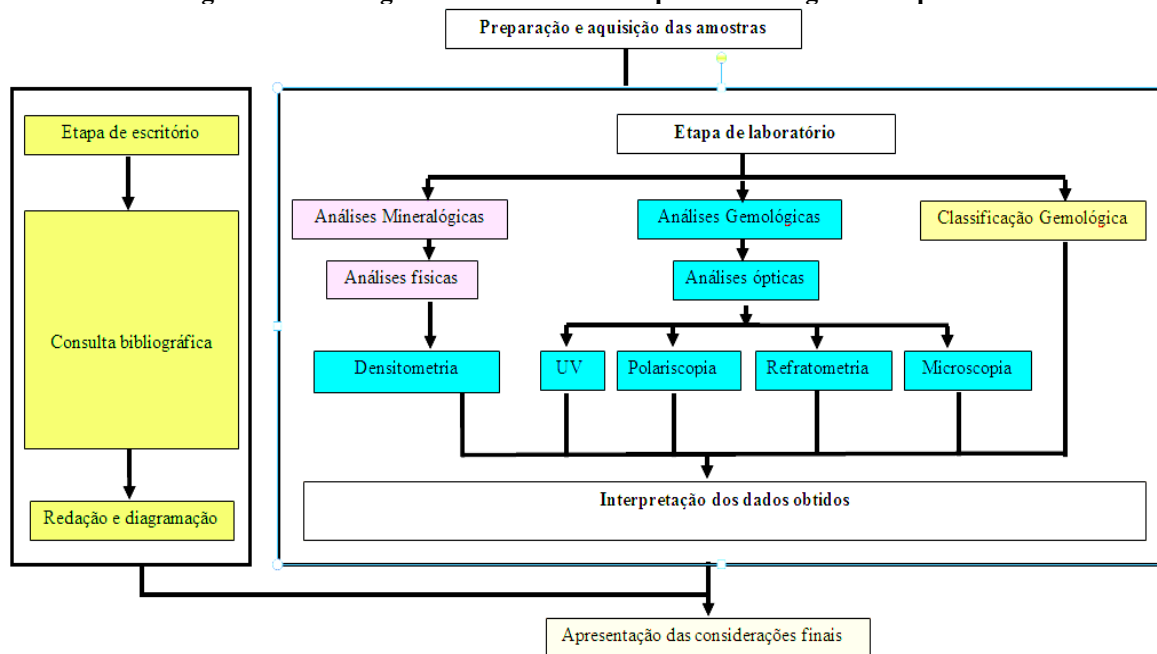
Fonte: NEWMAN, 2005

O objetivo deste trabalho é realizar a caracterização mineralógica macroscópica, bem como a caracterização gemológica de cristais de esmeralda provenientes do Sítio panatis, Rio Grande do Norte, com o intuito de avaliar o potencial de uso gemológico das mesmas. Trata-se de uma ocorrência até então desconhecida, que pode representar um avanço econômico para a região, bem como promover o melhor aproveitamento dos recursos minerais da região.

No mercado de gemas a esmeralda é um dos materiais gemológicos mais procurados e apreciados, sendo a busca por novas fontes desse recurso muito almejado. Dessa forma, a necessidade de diferenciação do material de cada região é de extrema importância para garantir traços específicos às ocorrências daquela região e também para criar uma validação e reconhecimento do material no âmbito profissional e comercial.

A metodologia empregada neste trabalho se deu em quatro etapas, sendo elas: coleta das amostras, seleção e preparação, descrição e análises laboratoriais e interpretação dos dados coletados. Para tanto foram utilizados os equipamentos disponíveis no Laboratório de Identificação e Caracterização de Gemas, da Universidade Federal do Espírito Santo e no Laboratório Gemologico da IGNIUS LTDA (Figura 3).

Figura 3 – Fluxograma mostrando as etapas metodológicas cumpridas.



Fonte: os autores

## CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA MACROSCÓPICA E ÓPTICA

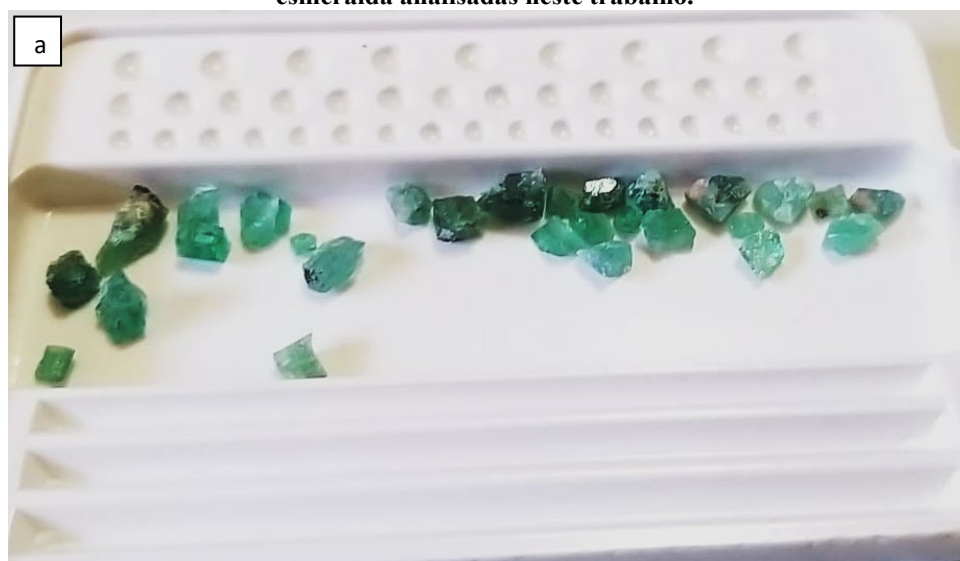
Foram coletados 28 cristais brutos e analisadas duas gemas lapidadas, as amostras brutas foram polidas em duas faces paralelas entre si, para possibilitar a realização das análises ópticas e microscópicas (Figuras 4 a e b).

Para a caracterização mineralógica foram realizadas as análises macroscópicas, sendo que as amostras brutas apresentam hábito prismático hexagonal, subédrico, fratura conchoidal a irregular, com dureza variando de 7 a 7,5, corroborando os dados teóricos propostos por KLEIN & HULBURT (2010).





Figuras 4 – (a) amostras brutas de esmeralda analisadas neste trabalho; (b) amostras lapidadas de esmeralda analisadas neste trabalho.



Fonte: os autores

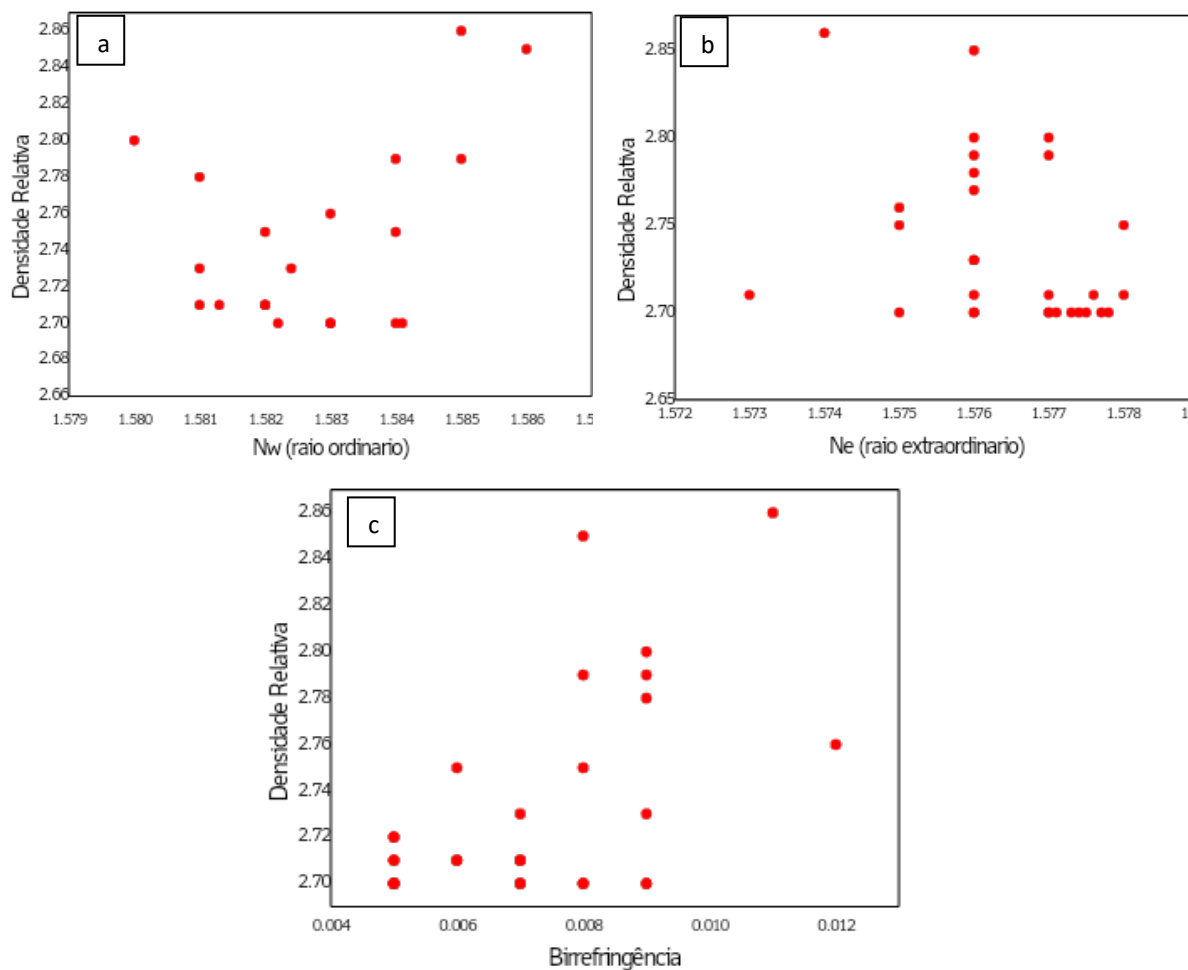
No que tange às análises gemológicas ópticas, os dados coletados encontram-se em conformidade com os dados teóricos para esmeralda, conforme descrito por SCHUMANN (2007). As amostras possuem peso compreendido entre 1,0 e 5ct e cor variando entre o verde médio e o verde intenso. Os valores de densidade estão compreendidos entre 2,70 e 2,85. Quanto aos índices de refração, o raio ordinário ( $n_o$ ) variou entre 1,580 a 1,586, já o raio extraordinário ( $n_e$ ) variou entre 1,573 a 1,578, com valores de birrefringência compreendidos entre 0,005 e 0,012. As amostras apresentaram dicróismo variando de moderado a forte em tons de verde médio a verde amarelada pálida, comportamento inerte quando expostas à luz ultravioleta de ondas curtas e longas e caráter óptico uniaxial, com sinal óptico negativo.

A partir das correlações entre os valores obtidos para a densidade, os índices de refração e a birrefringência foram possíveis aferir uma tendência sugestiva de correlação positiva entre



os parâmetros, onde o aumento da densidade implica no aumento destes parâmetros, conforme observado por AURISICHIO *ET. AL.*(1988). Segundo este autor, isso se justifica pela maior entrada de álcalis no sistema, como impurezas presentes na composição química do berilo, logo amostras que apresentaram maiores valores terão, possivelmente maior concentração de álcalis, podendo ainda ser justificado pela maior abundância de ocorrência de inclusões sólidas nessas amostras (Figuras 5 a, b e c).

**Figuras 5 – (a) Relação entre os parâmetros d x n<sub>o</sub> mostrando uma tendência sugestiva de uma correlação positiva; (b) Relação entre os parâmetros d x n<sub>e</sub>, mostrando uma tendência sugestiva de uma correlação positiva; (c) Relação entre os parâmetros d x b, mostrando uma tendência sugestiva de correlação positiva**

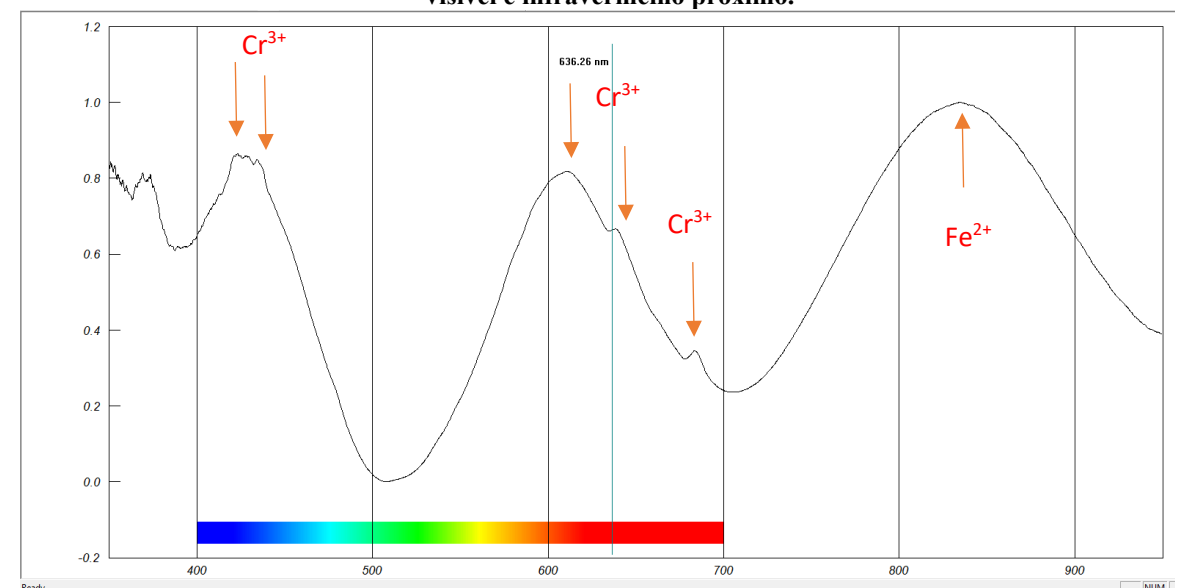


**Fonte: os autores**

Com o intuito de caracterizar os cromóforos presentes na composição química das amostras analisadas, bem como os espectros característicos, foram realizadas análises de uv-vis-nir, utilizando-se para tal do equipamento portátil, espectrômetro GLGem Spectrometer. Foram realizadas análise nas 30 amostras, no entanto, como houve uniformidade de comportamento das mesmas, a título de ilustração apresenta-se um espectro a seguir (Figura 6).



**Figura 6. Espectro de absorção de uma das amostras de esmeralda, evidenciando as faixas de absorção no visível e infravermelho próximo.**



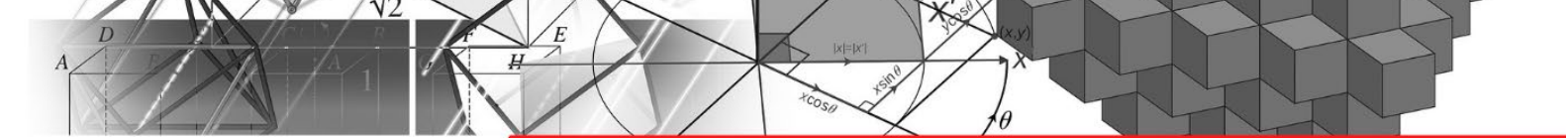
Fonte: os autores

Os espectros de absorção (*UV-VIS-NIR*) evidenciam feições de absorção características da transição eletrônica do  $\text{Cr}^{3+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$ . As feições de absorção nas regiões do visível e do infravermelho próximo, para as amostras analisadas, apresentam amplas feições de absorção nas faixas de 423-430 nm, 602- 609 nm, 638 nm e 681-685 nm, correspondendo ao  $\text{Cr}^{3+}$  no sítio octaédrico Y (Wood e Nassau, 1968). Observa-se ainda uma feição ampla na faixa entre 829-836 nm, atribuída ao  $\text{Fe}^{2+}$  no sítio octaédrico Y (WOOD E NASSAU, 1968; ZWAAN ET AL., 2012).

### CARACTERIZAÇÃO GEMOLÓGICA MICROSCÓPICA

As amostras foram analisadas e caracterizadas microscopicamente, a partir de microscopia de imersão, em microscópio gemológico horizontal combinado da marca Eickhorst System e as imagens foram capturadas a partir de smartphone acoplado ao mesmo.

CASTAÑEDA (1997) descreve detalhadamente as discontinuidades internas (inclusões) a serem descritas em materiais gemológicos de origem mineral. Tais inclusões envolvem discontinuidades de propriedades ópticas (zonação de cor, macla, zonação de diafanidade, etc.) e discontinuidades de propriedades físicas (cavidades de inclusões fluidas, fraturas e fissuras, inclusões sólidas, etc.). As inclusões ainda podem ser classificadas, do ponto de vista genético, levando-se em consideração a temporalidade dos eventos geológicos, como protogenéticas, primárias singenéticas, pseudo-secundárias singenéticas e secundárias epigenéticas.



Inclusões são definidas como sendo toda irregularidade presente no interior de um mineral, que podem ser observadas opticamente, compreendendo as inclusões sólidas, cavidades de inclusões fluidas, irregularidades estruturais, fraturas, fendas de clivagem e geminação, além das discontinuidades de propriedades ópticas, tais como zonação de cor e diafanidade (SCHUWARZ, 1987; GUBELLIN e KOIVULA, 2008; SCHWARZ & CURTI, 2020).

As discontinuidades ópticas e físicas, principalmente no caso da esmeralda, refletem o ambiente de cristalização, seja ela natural ou por algum método de sintetização. A aplicação de diversas técnicas analíticas, em conjunto com as análises das inclusões permite a interpretação de dados que facilitam a identificação e caracterização de um determinado depósito mineral (SCHUWARZ, 1987; SCHWARZ & CURTI, 2020).

As amostras analisadas apresentam uma forte zonação de cor, presente em 85% das amostras analisadas, estruturadas paralelamente aos planos e linhas de crescimento, geralmente em tons de verde médio, pálido e intenso.

Analisando a presença de inclusões sólidas de origem protogenética e singenéticas, foi possível verificar a presença de minerais sugestivos de talco / feldspato, flogopita e anfibólio (actinolita/tremolita), esses estão associados à paragênese da esmeralda da região ou presentes na composição das rochas encaixantes.

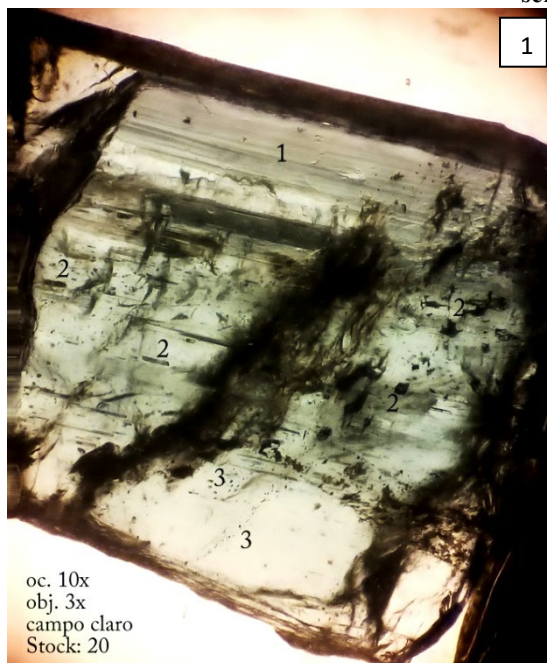
A ocorrência de cavidades de inclusões fluidas é frequente, sendo que essas variam quanto ao tamanho, origem e distribuição. Foram descritas cavidades bifásicas (l-g) a trifásicas compostas por dois líquidos imiscíveis e individualizando duas bolhas (l1-l2-g) e trifásicas (l-g-s), de contorno regular, e origem primária, geralmente se orientam paralela e perpendicularmente com relação ao eixo cristalográfico  $c$ , ou estão distribuídas aleatoriamente. Cicatrizando fraturas intragranulares pseudo-secundárias ocorrem cavidades de inclusões fluidas bifásicas (l-g) a monofásicas (l), e contorno regular, apresentando muitas vezes feições de escape de fluidos e estrangulamento, por vezes cavidades do tipo micrólitos, que são diminutas cavidades de inclusões fluidas de dimensões inferiores a 5 micrômetros. Cicatrizando as fraturas transgranulares secundárias ocorrem cavidades de inclusões fluidas bifásicas (l-g) de contorno irregular e apresentando feições de escape de fluidos, essas fraturas também ocorrem cicatrizadas por óxidos disseminados ou em agregados dendríticos.



As cavidades estruturais, do tipo canaliculos orientados, são de ocorrência frequente, no entanto, formam um efeito chuva incipiente. Adicionalmente ocorrem ainda pequenas fissuras de alívio de tensão.

As Fotomicrografias apresentadas na sequência exemplificam as discontinuidades internas descritas para as amostras provenientes do depósito em estudo.

**Fotomicrografia (1):** 1. linhas de crescimento zonação de cor, 2. cavidades de inclusões fluidas primárias de contorno regular, do tipo canaliculos alongados, preenchimento bifásico (l-g), predominantes sobre as inclusões fluidas primárias de contorno irregular, apresentando feições de escape de fluidos e preenchimento bifásico (l-g); 3. diminutas cavidades de inclusões fluidas, de contorno regular e preenchimento bifásico (l-g), cicatrizando fraturas intragranulares pseudo-secundárias. **Fotomicrografia (2):** 1. Linhas de crescimento; 2. Zonação de cor em tons de verde médio a verde claro; 3. Cavidades de inclusão fluida, de contorno regular, do tipo canaliculos alongados, apresentando preenchimento bifásico (l-g); 4. Fraturas intragranulares singenéticas, secas; 5. Fratura transgranular epigenética, parcialmente cicatrizadas por óxidos. Fotomicrografias em campo claro e sem filtro.

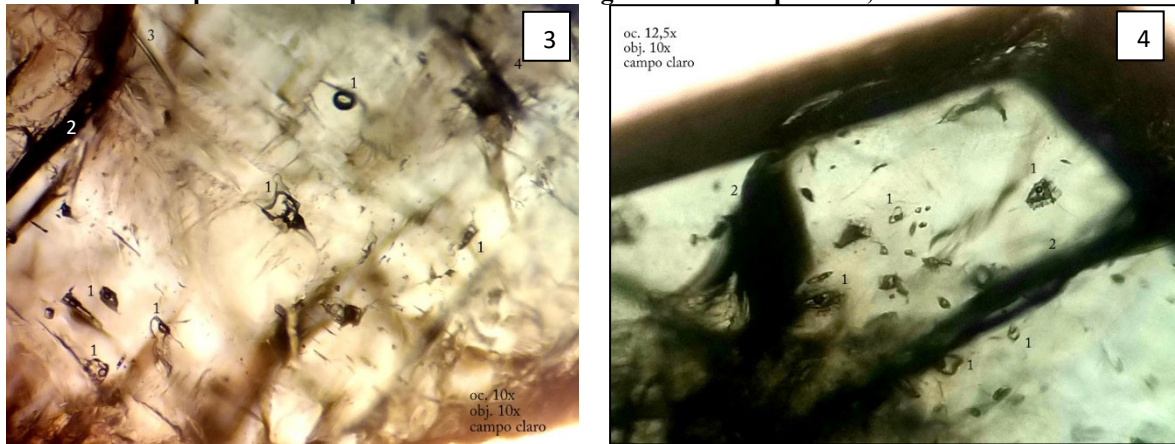


Fonte: os autores



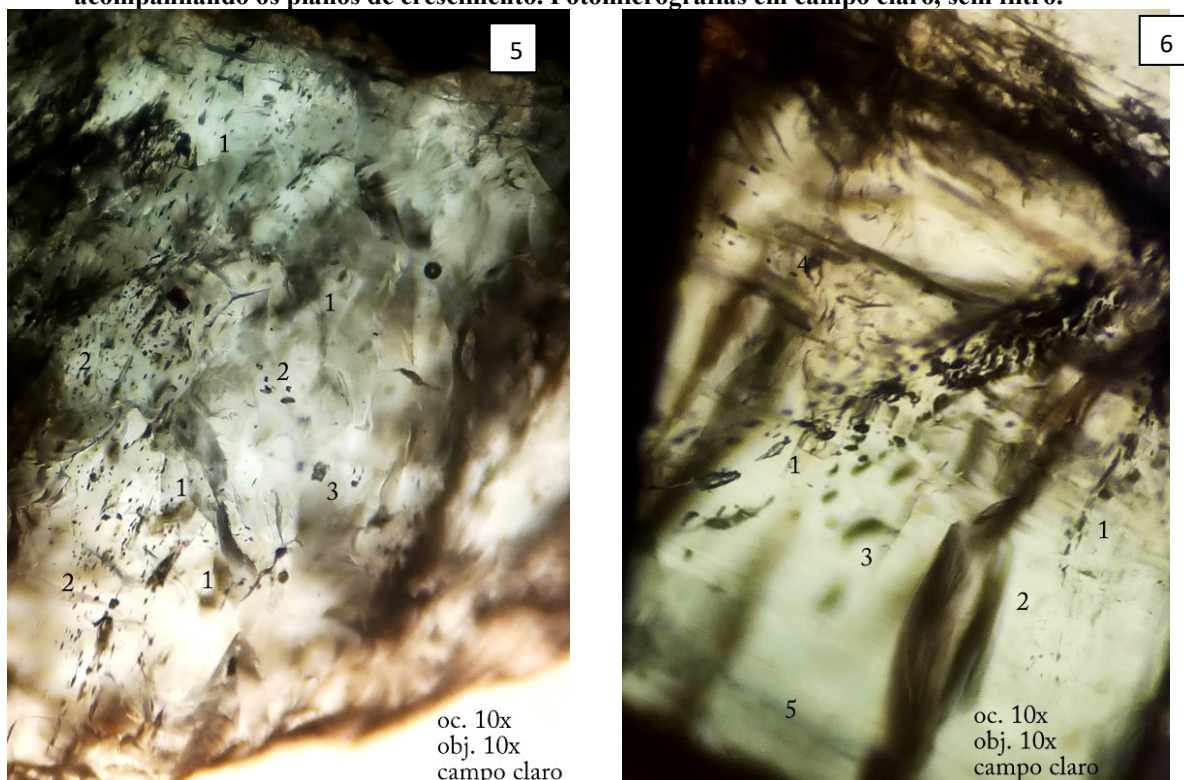
**Fotomicrografia (3):** 1. Cavidade de inclusão fluida primária bifásicas (L-G) e trifásicas (L-S-G), com distribuição aleatória; (2) fratura transgranular, epigenética, cicatrizada por óxidos; (3) inclusão sólida acicular, singenética, provavelmente tremolita; (4) fraturas intragranulares singenéticas secas.

**Fotomicrografia (4):** 1. cavidades de inclusões fluidas, apresentando contorno regular, de origem primária e preenchimento bifásico (l-g); 2. Fraturas transgranulares epigenéticas, cicatrizadas parcialmente por óxidos. Fotomicrografias em campo claro, sem filtro



Fonte: os autores

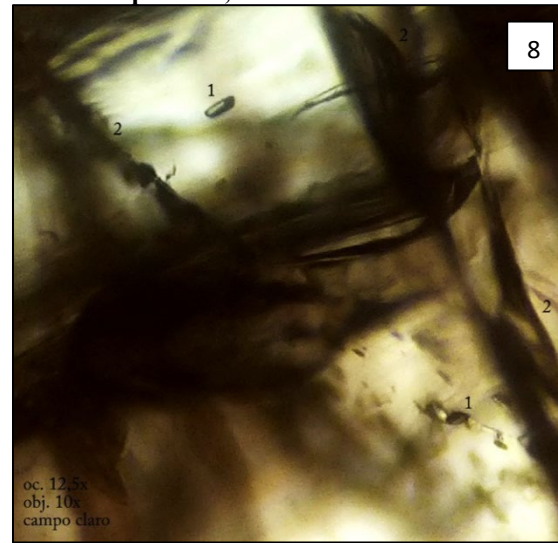
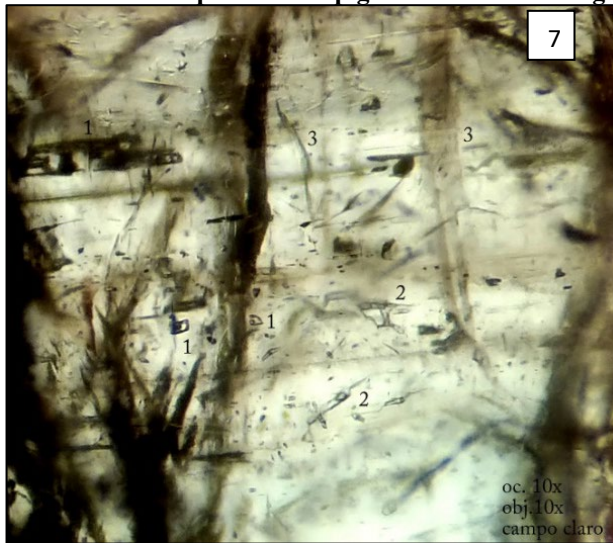
**Fotomicrografia (5):** 1. Inclusões singenéticas de flogopita dispersas aleatoriamente no mineral hospedeiro; 2. cavidades de inclusões fluidas, orientadas obliquamente com relação ao eixo cristalográfico c, apresentam contorno regular e preenchimento bifásico (l-g); inclusões fluidas primárias de contorno irregular e distribuição aleatória, apresentam feições de escape de fluido e preenchimento bifásico (l-g). Fotomicrografia (6): 1. Fratura intragranular, parcialmente cicatrizada por cavidades de inclusões fluidas pseudo-secundárias, de contorno regular, preenchimento bifásico (l-g) e apresentando feições de escape de fluido; 2. Fratura transgranular epigenética, parcialmente cicatrizada por óxidos; 3. Inclusões singenéticas de flogopita, distribuídas aleatoriamente; 4. Pequenas fissuras secas, intragranulares singenéticas; 5. zonamento de cor em tons de verde médio e verde claro, acompanhando os planos de crescimento. Fotomicrografias em campo claro, sem filtro.



Fonte: os autores

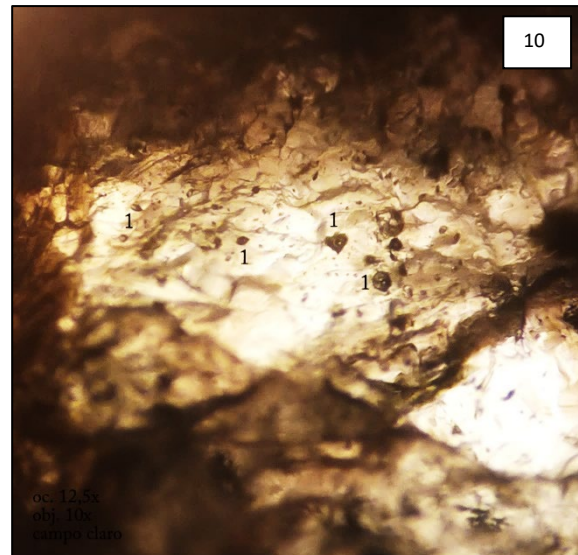
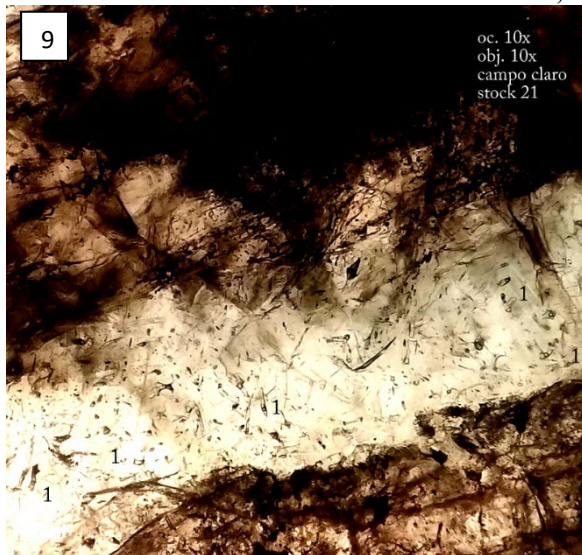


**Fotomicrografia (7):** 1. Cavidades de inclusões fluidas, de contorno regular, distribuição aleatória e origem primária; 2. Cavidades de inclusões fluidas pseudo-secundárias, apresentando feições de escape de fluidos e estrangulamento, distribuídas ao longo de fraturas intragranulares; 3. Fraturas intragranulares, pseudo-secundárias, secas. **Fotomicrografia (8):** 1. Cavidades de inclusões fluidas bifásicas (l-g), com fase gasosa castanho escuro; 2. Fraturas transgranulares secundárias, cicatrizadas por óxidos epigenéticos. **Fotomicrografias em campo claro, sem filtro.**



Fonte: os autores

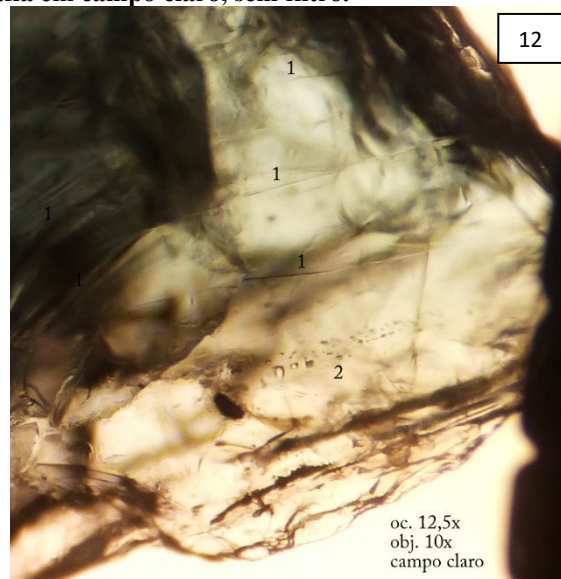
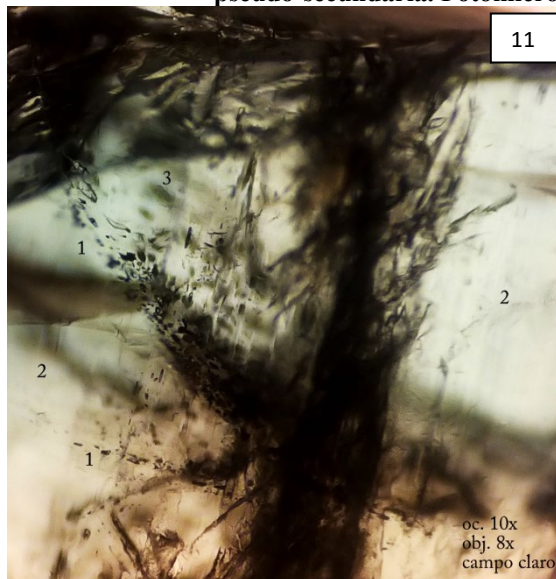
**Fotomicrografia (9):** 1. Diversas cavidades de inclusões fluidas apresentando contorno variando de regular a irregular, bifásicas (l-g), de origem pseudo-secundárias, algumas apresentando feições de escape de fluidos e estrangulamento. **Fotomicrografia 10:** 1. Cavidades de inclusões fluidas de contorno regular e preenchimento trifásico (l1-l2-g), distribuídas aleatoriamente. **Fotomicrografias em campo claro, sem filtro.**



Fonte: os autores

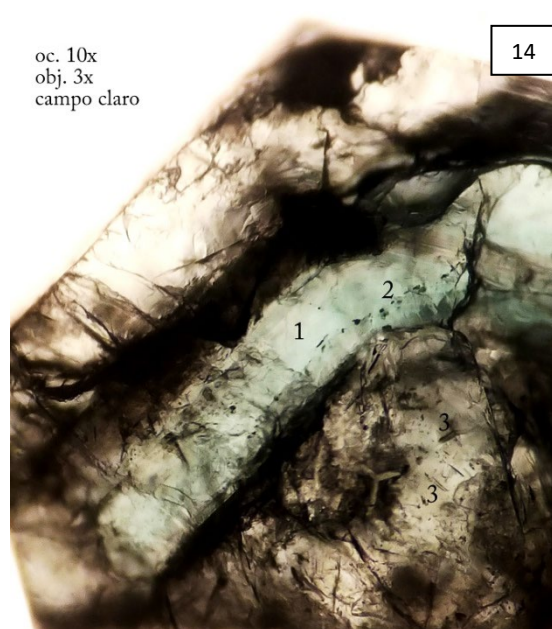
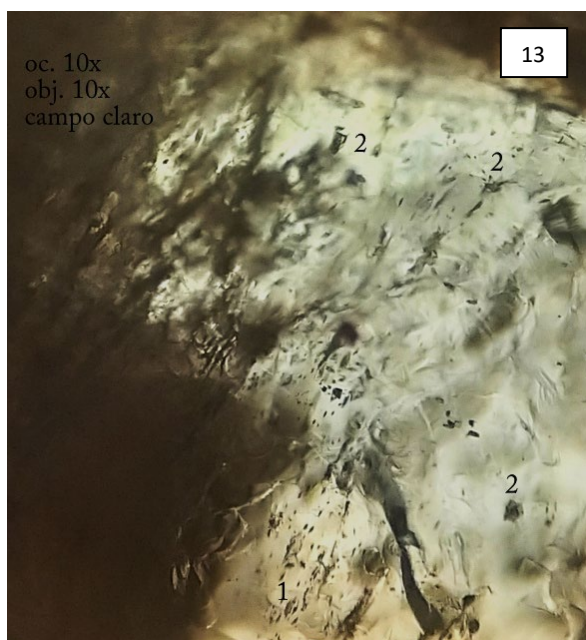


**Fotomicrografia (11):** 1. Fraturas intragranulares pseudo-secundárias, cicatrizadas por cavidades de inclusões fluidas de contorno regular, preenchimento bifásico (l-g), algumas apresentando feições de escape de fluidos; 2. Linhas de crescimento coincidentes com zonação de cor em tons de verde; 3. Inclusões sólidas singenéticas de flogopita, distribuídas aleatoriamente. **Fotomicrografia (12):** 1. Planos de crescimento; 2. Cavidades de inclusões fluidas monofásicas (l), cicatrizando fratura intragranular pseudo-secundária. **Fotomicrografia em campo claro, sem filtro.**



Fonte: os autores

**Fotomicrografia (13):** 1. Micrólitos de inclusões fluidas, cicatrizando fratura intragranular pseudo-secundária; 2. Cavidades de inclusões fluidas bifásicas (l-g), de contorno regular e origem singenética. **Fotomicrografia (14):** 1. Zonação de cor em tons de verde; 2. Micrólitos de inclusões fluidas preenchendo fratura intragranular pseudo-secundária; 3. inclusões sólidas singenéticas de anfibólio. **Fotomicrografias em campo claro, sem filtro.**

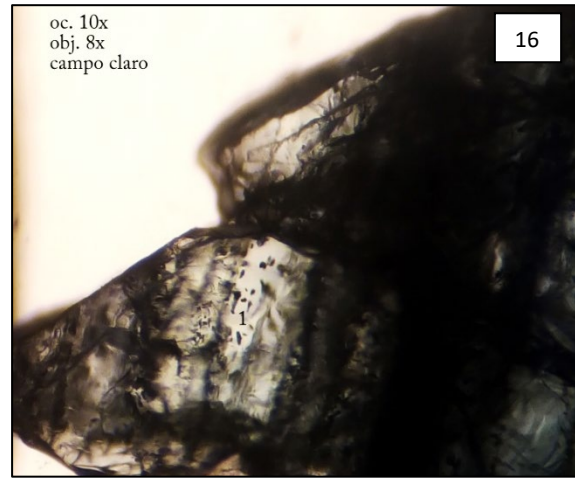
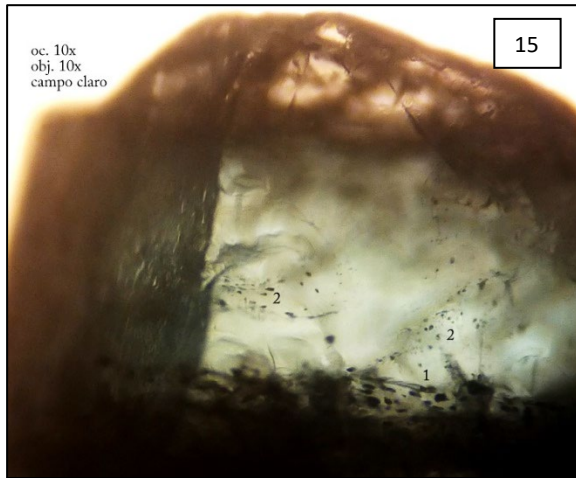


Fonte: os autores



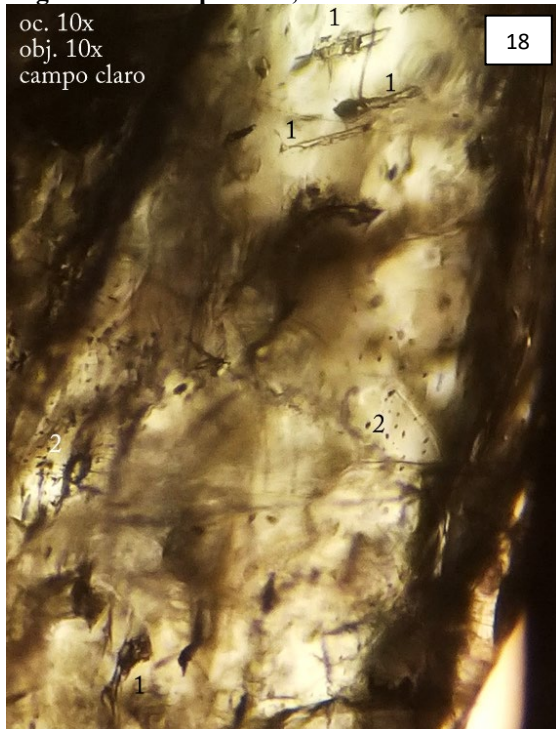


**Fotomicrografia (15):** 1. Fratura transgranular secundária, cicatrizada por cavidades de inclusões fluidas bifásicas (l-g) de contorno regular, apresentando feições de estrangulamento; 2. Fraturas intragranulares pseudo-secundárias, cicatrizadas por cavidades de inclusões fluidas bifásicas (l-g).  
**Fotomicrografia (16):** 1. Cavidades de inclusões fluidas distribuídas paralelamente ao eixo cristalográfico c. Fotomicrografias em campo claro, sem filtro.



Fonte: os autores

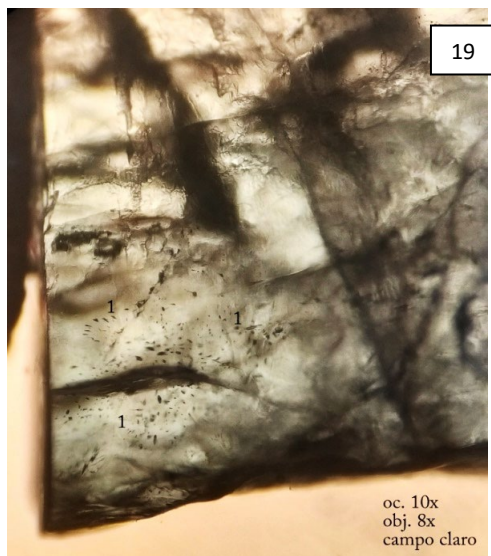
**Fotomicrografia (17):** 1. Cavidades de inclusões fluidas orientadas segundo fratura pseudo-secundária, apresentando contorno regular, preenchimento bifásico (l-g), com fase gasosa apresentando coloração escura; 2. Fissuras de alívio de tensão. Fotomicrografia (18): 1. Cavidades de inclusões fluidas primárias, apresentando contorno irregular, feições de escape de fluido e estrangulamento; 2. Micrólitos de inclusões fluidas. Fotomicrografia em campo claro, sem filtro.



Fonte: os autores

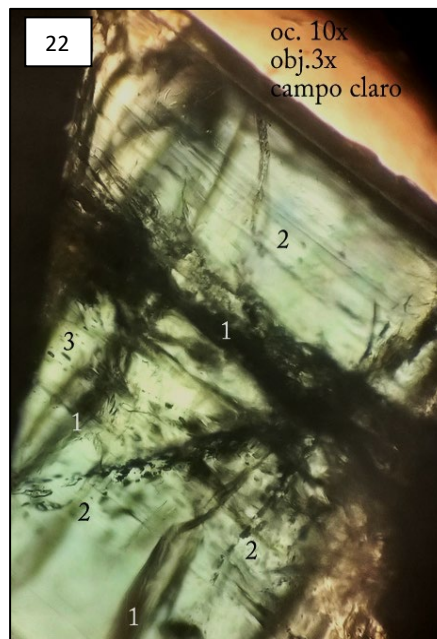
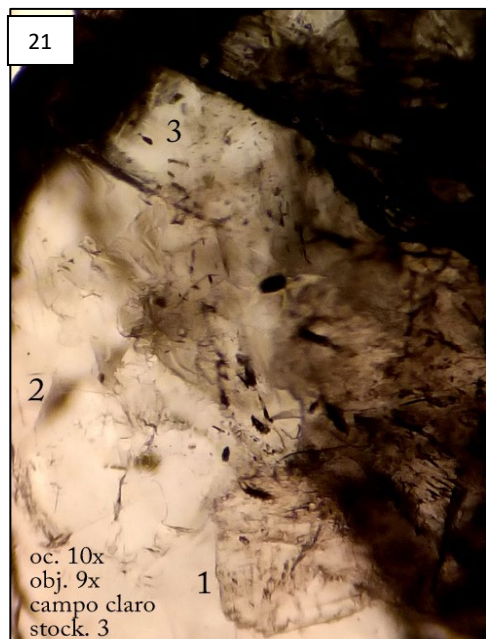


**Fotomicrografia (19):** 1. Cavidades de inclusões fluidas pseudo-secundárias, bifásicas (l-g), cicatrizando fraturas intragranulares. **Fotomicrografia (20):** 1. Cavidades de Inclusão fluida primária bifásica (L-G), distribuídas aleatoriamente; 2. Fratura intragranular cicatrizada por cavidades de inclusão fluida pseudo-secundarias bifásica (L-G), 3. Fratura transgranular secundária, cicatrizada por óxidos epigenéticos.



Fonte: os autores

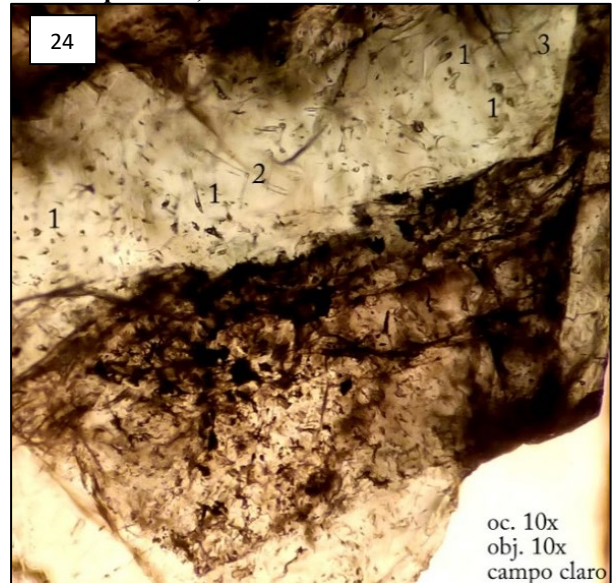
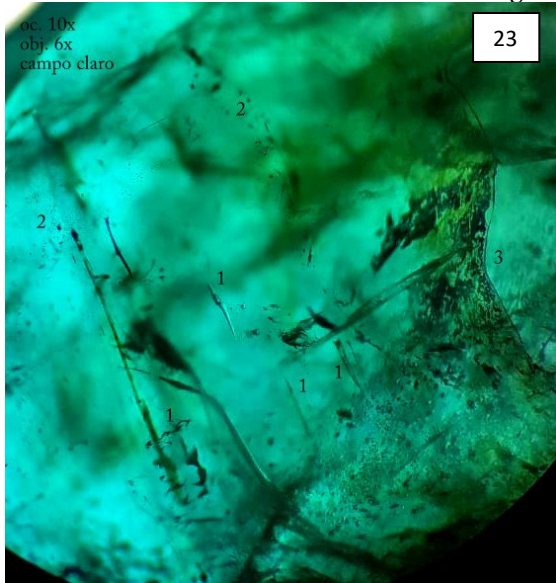
**Fotomicrografia (21):** 1. Inclusão sólida protogenética de feldspato; 2. Inclusão sólida singenética de flogopita; 3 cavidades de inclusões fluidas primárias, distribuídas aleatoriamente no cristal. **Fotomicrografia (22):** 1. Fraturas transgranulares secundárias, cicatrizadas por óxidos epigenéticos; 2. Fraturas intragranulares pseudo-secundárias, cicatrizadas por cavidades de inclusões fluidas bifásicas (l-g), apresentando feições de escape de fluidos; 3. Cavidades de inclusões fluidas bifásicas (l-g) primárias, do tipo canaliculos. Fotomicrografias em campo claro, sem filtro.



Fonte: os autores

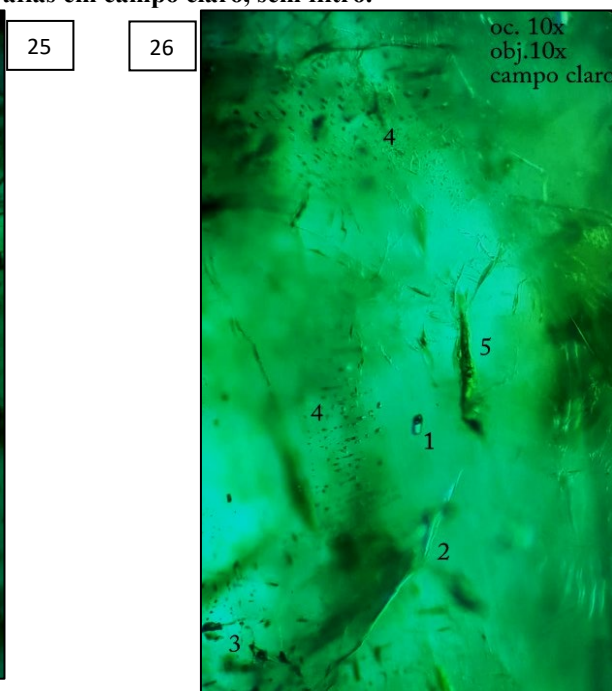


**Fotomicrografia (23):** 1. Cavidades de inclusões fluidas primárias, bifásicas (l-g), apresentando feições de estrangulamento; 2. Fraturas intragranulares pseudo-secundárias, cicatrizadas por cavidades de inclusões fluidas do tipo micrólitos; 3. Fratura transgranular secundária, cicatrizada por óxidos dendríticos epigenéticos. **Fotomicrografia (24):** 1. Diversas cavidades de inclusões fluidas apresentando contorno variando de regular a irregular, bifásicas (l-g), de origem pseudo-secundárias, algumas apresentando feições de escape de fluidos e estrangulamento; 2. Inclusões sólidas acicular, singenética de anfibólio. **Fotomicrografias em campo claro, sem filtro.**



Fonte: os autores

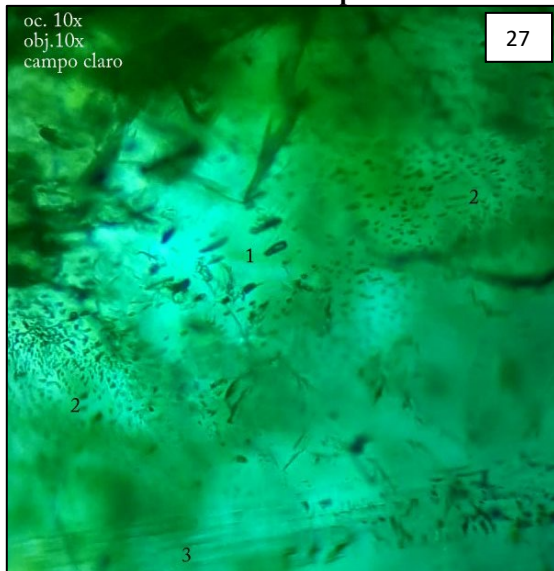
**Fotomicrografia (25):** 1. Cavidades de inclusões fluidas primárias, bifásicas (l-g), de contorno regular; 2. Cavidades de inclusões fluidas pseudo-secundárias, bifásicas (l-g), apresentando feições de estrangulamento. **Fotomicrografia (26):** 1. Cavidade de inclusão fluida primária, de contorno regular e preenchimento bifásico (l-g); 2. Fratura intragranular pseudo-secundária, seca; 3. Cavidades de inclusão fluida bifásicas (l-g), cicatrizando fratura intragranular pseudo-secundária; 4. Inclusões fluidas bifásicas (l-g), do tipo canaliculos; 5. Fratura intragranular preenchida por óxidos. **Fotomicrografias em campo claro, sem filtro.**



Fonte: os autores



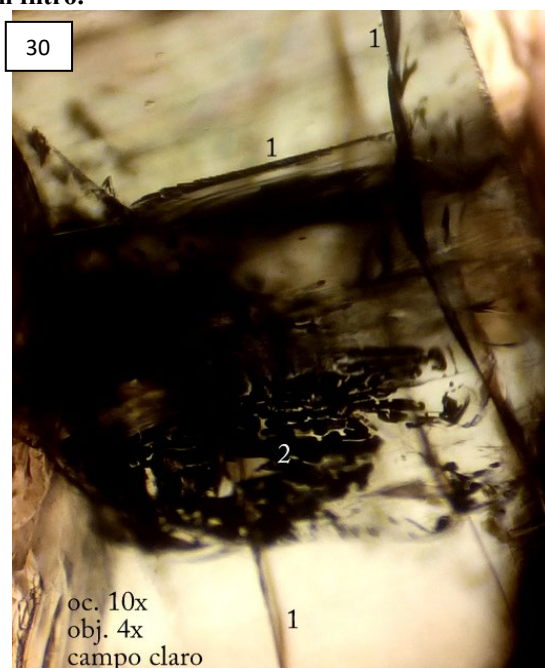
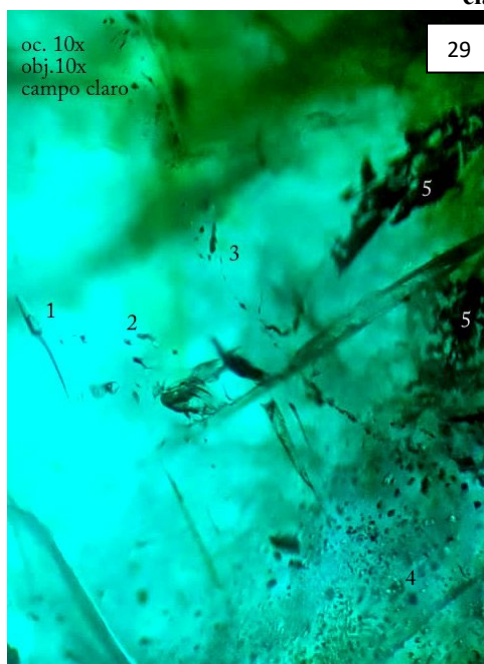
**Fotomicrografia (27):** 1. Cavidades de inclusões fluidas bifásicas (l-g), de contorno regular e origem primária; 2. Cavidades de inclusões fluidas de origem pseudo-secundárias (cicatrizando fraturas intragranulares), de contorno regular e preenchimento monofásico (l) a bifásico (l-g); 3. Linhas de crescimento. **Fotomicrografia (28):** 1. Fraturas transgranulares secundárias, preenchidas por/\* óxidos epigenéticos; 2. Fratura intragranular discoide, pseudo-secundária, preenchida por óxidos singenéticos; 3. Cavidades de inclusões fluidas de contorno regular, preenchimento bifásico, cicatrizando fratura pseudo-secundária. **Fotomicrografias em campo claro, sem filtro.**



Fonte: os autores

**Fotomicrografia (29):** 1. Cavidade de inclusão fluida primária, bifásica (l-g), apresentando feição de escape de fluido; 2. Cavidades de inclusões fluidas pseudo-secundárias, bifásicas (l-g); 3. Cavidades pseudo-secundárias do tipo micrólitos; 4. Fratura intragranular cicatrizada por cavidades de inclusões fluidas com preenchimento variando de monofásico (l) a bifásico (l-g) e origem pseudo-secundária; 5. Fraturas transgranulares secundárias, cicatrizadas por óxidos dendríticos epigenéticos.

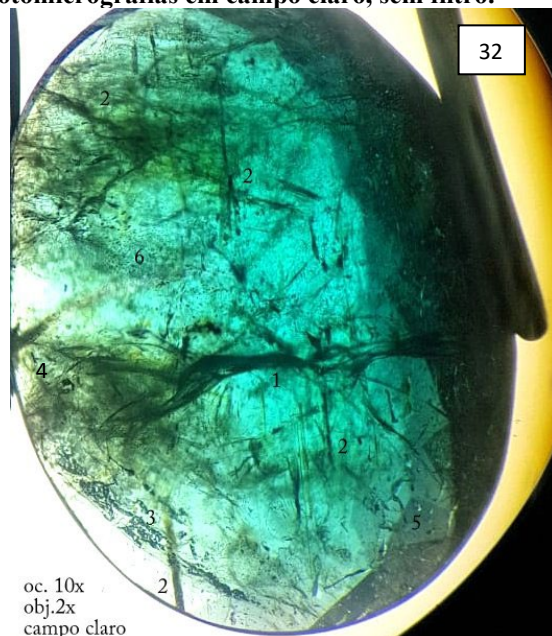
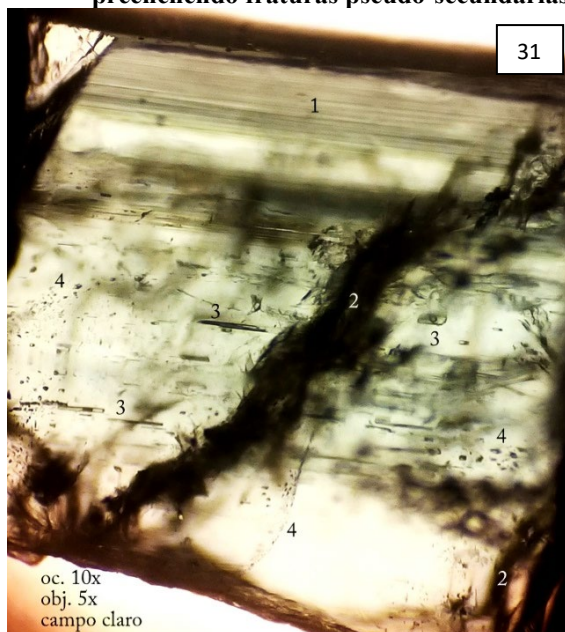
**Fotomicrografia (30):** 1. Fraturas transgranulares preenchidas por óxidos epigenéticos; 2. Fratura trangranular secundária, cicatrizada por óxido dendrítico epigenético. **Fotomicrografias em campo claro, sem filtro.**



Fonte: os autores

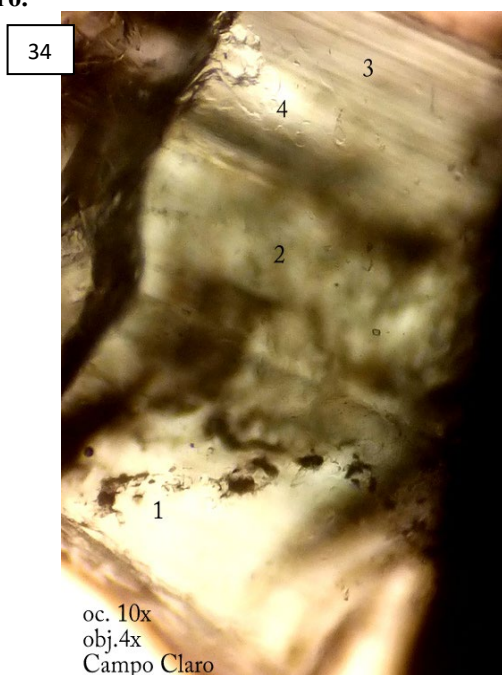


**Fotomicrografia (31):** 1. Linhas de crescimento; 2. Fratura transgranular secundária, cicatrizada por óxidos; 3. Cavidades de inclusões fluidas primárias, preenchimento variando de monofásico (l) a bifásico (l-g); 4. Cavidades de inclusões fluidas, do tipo micrólitos, cicatrizando fratura intragranular, pseudo-secundária. **Fotomicrografia (32):** 1. Fratura transgranular secundária, preenchida por óxidos; 2. Fratura transgranular secundária, cicatrizada por cavidades de inclusões fluidas do tipo micrólitos; 3. Fratura transgranular secundária, preenchida por óxidos dendríticos epigenéticos; 4. Fissuras de alívio de tensão; 5. Cavidades de inclusões fluidas primárias; 6. Cavidades de inclusões fluidas preenchendo fraturas pseudo-secundárias. **Fotomicrografias em campo claro, sem filtro.**



Fonte: os autores

**Fotomicrografia (32):** 1. Inclusões sólidas protogenéticas de feldspato; 2. Fratura transgranular secundária preenchida por óxidos; 3. Linhas de crescimento. **Fotomicrografia (34):** 1. Cavidades de inclusões fluidas pseudo-secundárias, de contorno irregular, preenchimento bifásico (l-g), com fase gasosa escura; 3. Linhas de crescimento; 4. Zonação de cor em tons de verde. **Fotomicrografias sem filtro.**



Fonte: os autores

## POTENCIAL GEMOLÓGICO

A esmeralda é a variedade do mineral Berilo no qual se tem um dos maiores destaques entre as gemas coradas, principalmente por conta de seu reconhecimento global e histórico em joias famosas pelo mundo. Pertencem às gemas do grupo III ou tipo III, que são aquelas que sempre ocorrem com inclusões visíveis a olho nu. Assim, a busca e os valores praticados no mercado atualmente refletem a excepcionalidade que é o processo e condições para formação de esmeraldas.

Assim, para traçar o potencial gemológico das amostras alvo desta pesquisa, procedeu-se à avaliação das gemas lapidadas, seguindo a metodologia proposta por NEWMAN CARVALHO E NEWMAN (2012) (Tabela 1). A partir da análise das amostras lapidadas foram obtidas notas 7,8 e 7,2, respectivamente, sendo as mesmas classificadas como de qualidade BOA, de acordo com o Sistema de graduação para gemas coradas (Tabela 1). Demonstrando, desta forma um alto potencial de aplicabilidade gemológica desse material, com uma possibilidade de inserção comercial deste no mercado de gemas e joias brasileiras.

**Tabela 1: Sistema de graduação para gemas coradas**

Sistema de graduação para gemas coradas: The Guide, modificado de Leite 1996, Polli 1998.

	<b>EXCELENTE (Extra)</b>	<b>BOA (Primeira, Fina ou Forte)</b>	<b>MÉDIA (Segunda)</b>	<b>FRACA (Terceira ou comercial)</b>
Cor	Matiz puro e uniforme. Brilho intenso.	Matiz puro com algum desvio de tom, variando de mais intenso para mais claro ou fraco (manchas). Brilho intenso.	Grande diferença de tom, pouca saturação. Extinção de cor. Forte zonamento de cor.	Muito clara ou muito escura. Pouquíssima saturação, ou em excesso. Quase incolor, translúcida a opaca.
Pureza	<b>Grupo 1:</b> Minúsculas inclusões, invisíveis a olho nu e pouco visíveis com lupa de 10x. <b>Grupo 2:</b> Pequenas inclusões invisíveis a olho nu levemente visíveis a 10x. <b>Grupo 3:</b> Pequenas inclusões, não visíveis a olho nu e levemente visíveis a 10x.	<b>Grupo 1:</b> Minúsculas inclusões aparentes ou visíveis a 10x e podem ser vistas a olho nu. <b>Grupo 2:</b> Inclusões bastante visíveis a 10x e facilmente visíveis a olho nu. <b>Grupo 3:</b> Inclusões bastante aparentes ou visíveis a olho nu.	<b>Grupo 1:</b> Inclusões pouco visíveis a olho nu, visíveis a 10x. <b>Grupo 2:</b> Inclusões visíveis a olho nu e muito visíveis a 10x. <b>Grupo 3:</b> Inclusões muito visíveis a olho nu.	<b>Grupo 1:</b> Inclusões pouco visíveis a olho nu, visíveis a 10x. <b>Grupo 2:</b> Inclusões acentuadas visíveis a olho nu. <b>Grupo 3:</b> Muitas inclusões visíveis a olho nu, tornando a gema translúcida ou opaca.



Lapidação e Acabamento	Boas proporções, simetria perfeita, culaça bem centrada, bom polimento, facetas bem colocadas, sem estarem remontadas.	Pequenas variações nas proporções, nas linhas de simetria (cintura ou rondiz) e pequena janela na mesa, vista pela coroa.	Variações nas proporções (muito alta ou profunda ou muito rasa). Grande janela na mesa, quando observada através da coroa.	Grandes variações na simetria, com proporções longe das ideais. Polimento fraco ou ruim.
Graduação	8 a 10	6 a 8	4 a 6	Abaixo de 4

Fonte: NEWMAN CARVALHO e NEWMAN (2012)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados obtidos nesse trabalho contribuem para a diferenciação mineralógica e gemológica do material diante as outras regiões reconhecidas atualmente como locais de prospecção de esmeraldas. Os resultados demonstraram um grande potencial para a exploração desse material na região para beneficiamento gemológico em grande escala (Figura 7).

Figuras 6: Amostras de esmeraldas Brutas da região do Sítio Panatis.

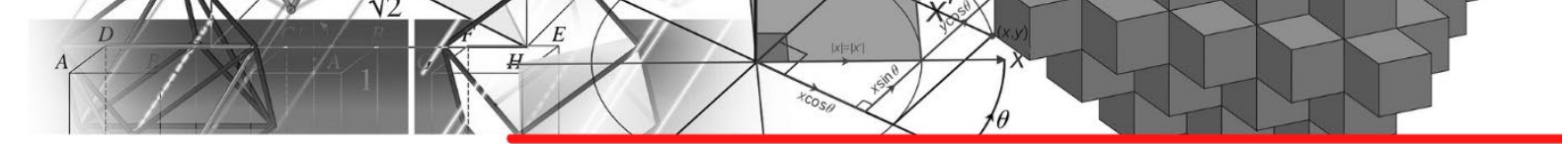


Fonte: Os Autores

A caracterização gemológica e petrográfica das inclusões e descontinuidades internas da esmeralda do Sítio Panatis, possibilitou reunir informações que podem ser utilizadas na sua diferenciação de sugestão de origem, quando comparada com as demais ocorrências de esmeralda brasileira, o que conforme descrito por SCHWARZ & CURTI, (2020) é de suma importância do ponto de vista da gemologia moderna. Além disso, a análise do potencial gemológico das gemas mostra que há um alto potencial de aplicabilidade gemológica das mesmas.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO NETO, J. F. (2018). **Caracterização da esmeralda do município de Paraná, estado do Rio Grande do Norte, Brasil. Dissertação (Mestrado)**. Recife: Centro de Tecnologia e Geociências – UFPE.



Auriscichio C., Fioravanti O., Grubessi O., Zanazzi P.F. 1988. Reappraisal of the crystal chemistry of beryl. *American Mineralogists*, 73:826-837.

BRANCO. P.M. **Dicionário de mineralogia e gemologia**. Oficina de textos/SP 2008 p. 161.

CASTAÑEDA, C. **O estudo de inclusões**. *Monografia*, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 1995 p. 66.

GUBELIN, E. J. e KOIVULA, J. I. **Photoatlas of inclusions in gemstones**: v 1, 2, 3. 5 edição. Zurich: ABC, 2008.

IBGM – **Manual técnico de gemas**. 3 ed. rev. e atual. Brasília – 2005. p. 34-35.

KLEIN. C.; DUTROW. B. **Manual de ciências dos minerais**. 23. Ed. Porto Alegre. Bookman. 2012 p. 588.

MORAES, J. F. S. M. **Gemas do estado do Rio Grande do Norte**. Recife. CPRM, 1999. p. 19-20, 72.

NEWMAN CARVALHO, D.T., NEWMAN, J.A. **Roteiro para Avaliação de gemas, Grupo de Estudos em Gemologia (GREGEM)**. Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). 2016.

NEWMAN, J.A. **Integração de dados geológicos e geofísicos para seleção de áreas alvos para a prospecção de esmeralda na Folha Itabira, Minas Gerais**. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Ouro Preto, 2005 p.195.

SAUER. J.R. **O mundo das esmeraldas**. 1992 p. 47

SCHUMANN. W. **Gemstones of the world**. *Sterling Publishing Co. Inc.* New York 1997 p. 51 e 90.

SCHUWARZ. D.: **Esmeraldas. Inclusões em gemas**. Ouro Preto. UFOP/Imprensa Universitária. 1987 p. 100-108.

SCHWARZ, D. & CURTI, M. **Emerald – Modern Gemmology**. Bellerophon GemLab. Paris. France. 481 p.

SILVA, M. R. R.; DANTAS, J. R. A. Província pegmatítica da Borborema -Seridó, Paraíba e Rio Grande do Norte. *In: Brasil DNPM. Principais Depósitos Minerais do Brasil*. Brasília, 1997. 4v., v.4, Parte B, p. 441-467.

WOOD, D.L.; NASSAU, K. **The characterization of beryl and emerald by visible and infrared absorption spectroscopy**. *The American Mineralogist*, v. 53, 777–800, 1968.

ZWAAN, J.C.; JACOB, D.E.; HAEGER, T.; CAVALCANTI NETO, M.T.O.; KANIS, J. **Emeralds from the Fazenda Bonfim Region, Rio Grande do Norte, Brazil**. *Gems and Gemology*, v. 48, n. 1, p. 2–17, 2012.

Os autores agradecem ao senhor Adão Paiva por ceder as amostras e o acesso à área, que possibilitou a realização desta pesquisa.





# CAPÍTULO 14

## DESENVOLVIMENTO DE AMPLIFICADOR SÍNCRONO PARA CARACTERIZAÇÃO DE IMPEDÂNCIA DE DISPOSITIVOS INTERDIGITADOS

DOI: 10.47402/ed.ep.c202176412660

**Juliane do Carmo Sales**, Mestranda do Curso PPGES, UPE  
**Ricardo Ataíde de Lima**, Professor orientador: Dr, UPE

### RESUMO

Este trabalho tem como objetivo caracterizar e calibrar um circuito para detecção de impedância elétrica de dispositivos interdigitados. Esta classe de dispositivo é utilizada em aplicações biossensores, pois é possível relacionar de forma direta a presença de material biológico, bem como sua concentração com alterações da impedância elétrica do interdigitado. Um circuito interessante para este fim é o amplificador síncrono ou lock-in. Ele é utilizado para recuperação de sinais mesmo em um meio adverso e pode ser usado para medir resistência e capacitância do dispositivo sobre teste a partir do processamento da sua tensão de saída. O amplificador lock-in é composto por uma fonte de excitação, uma tensão de referência, um deslocador, um multiplicador e um filtro passa baixa. Este artigo contempla a validação deste circuito utilizando-o para ler a capacitância e resistência de componentes comerciais, cujo valores estão dentro da faixa para dispositivos interdigitados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Amplificador Síncrono, Impedância, Dispositivo Interdigitado.

### INTRODUÇÃO

Dispositivos interdigitados são estruturas planares constituídas de dígitos periódicos com vasta gama de aplicações. Pode-se destacar a utilização destes dispositivos em circuitos integrados de micro-ondas, dispositivos de ondas acústicas de superfície e transdutores elétrico-acústico. Para aplicações em baixa frequência, destaca-se o seu uso como eletrodo de trabalho aplicado a biossensores (RIBEIRO, 2012)(SILVA, 2016).

Um biossensor classicamente é definido como um dispositivo que incorpora um elemento de reconhecimento biológico (enzimas, anticorpos, etc.) em contato íntimo com um elemento transdutor (CALIL; SILVA, 2011). Esta integração assegura a conversão conveniente dos eventos biológicos em um sinal elétrico quantificável. Classifica-se um biossensor em relação à biocamada (enzimáticos, imunossensores e celulares) e o tipo de transdutor utilizado (eletroquímico, óptico, acústico e calorímetro) (SOARES, 2011). Em específico, existe uma classe de biossensores eletroquímicos de eletrodos interdigitados, em que a interação do analito



e a biocamada provoca alterações na capacitância deste biossensor, da ordem de dezenas até centenas de pF (RIBEIRO, 2012) e alterações na resistência da ordem de dezenas de  $k\Omega$ .

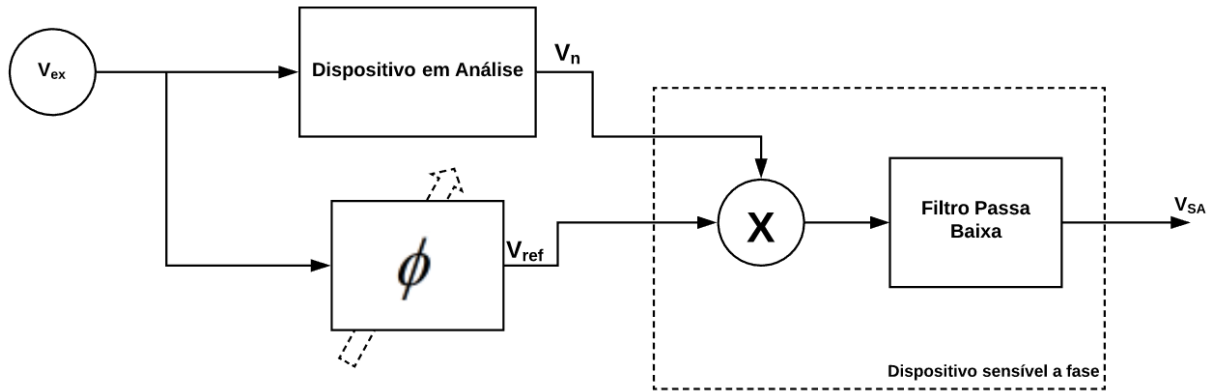
É possível implementar circuitos que permitam detectar variação de capacitância e resistência de dispositivos em análises, na faixa definida por (RIBEIRO, 2012). Uma possibilidade seria o amplificador síncrono, também denominado amplificador lock-in. Este circuito é utilizado para medir correntes e tensões muito pequenas além de melhorar a Relação Sinal- Ruído (SNR) do sinal medido, sendo capaz de amplificar sinais que estão abaixo do nível de ruído, possibilitando a medição de sua amplitude (HALL; KEYNES, 1982). Pode-se utilizar o amplificador síncrono conectado ao capacitor interdigitado a fim de extrair informações sobre sua admitância elétrica. O amplificador síncrono é um circuito que possibilita a medição de sinais extremamente pequenos, mesmo que imersos em ruído, através da detecção da diferença de fase entre dois sinais de mesma frequência (KLOOS, 20018).

Assim, o objetivo deste trabalho é o projeto e calibração de um amplificador síncrono analógico, capaz de inferir de forma simultânea informações da capacitância e resistência de um dispositivo interdigitado. Este desenvolvimento é uma importante etapa para o projeto de soluções point-of-care para realizar testes clínicos rápidos usando biossensores.

## METODOLOGIA

A Figura 1 mostra o diagrama de blocos de um amplificador síncrono. Ele é constituído de um oscilador senoidal, um deslocador de fase, um circuito multiplicador de tensão e um filtro passa-baixa. A técnica de detecção de fase funciona da seguinte forma: estimula-se o interdigitado com um sinal de referência gerado por um oscilador local dentro do amplificador síncrono. O sinal de saída do interdigitado é proporcional ao sinal de referência, porém com um retardo de fase. Este sinal entra no amplificador síncrono onde é submetido a um processamento analógico juntamente com o sinal de referência, resultando no valor da admitância elétrica do dispositivo (SANTOS, 2011).

Figura 2: Diagrama de blocos do lock-in.



Quer-se medir a admitância elétrica  $Y(\omega, V)$  do dispositivo interdigitado:

$$Y(\omega, V) = G(\omega, V) + j\omega C(\omega, V) \quad (1)$$

onde  $\omega$  é a frequência angular do sinal de referência,  $V$  é a tensão de polarização,  $G$  e  $C$  são a condutância e capacitância do dispositivo sobre teste, respectivamente. O sinal de referência  $V_{ex}$  é expresso por:

$$V_{ex} = A \cos(\omega t), \quad (2)$$

onde  $A$  é a amplitude do sinal e  $\omega$  a frequência angular dada por  $\omega = 2\pi f$ . Este sinal estimula o dispositivo interdigitado produzindo uma corrente elétrica. A corrente que sai do interdigitado passa por um amplificador de transimpedância, circuito que converte sinal de corrente em tensão, resultando no sinal  $V_{in}$ , que é proporcional ao sinal de referência com retardo de fase  $\theta$ .

$$V_{en} = -AH_t |Y(\omega, V)| \cos(\omega t + \theta), \quad (3)$$

em que  $H_t$  é a função de transferência do amplificador de transimpedância. O sinal de referência tem sua fase  $\phi$  ajustada pelo deslocador de fase:

$$V_{ref} = -A \cos(\omega t + \phi). \quad (4)$$

A detecção sensível em fase pode ser implementada por um multiplicador, no qual a tensão de saída deste dispositivo  $V_M$  é dada por:

$$V_M = V_{ref} V_{en} = A^2 H_t |Y(\omega, V)| \cos(\omega t + \phi) \cos(\omega t + \theta) \quad (5)$$

Sabendo que  $\cos(A) \cos(B) = \frac{1}{2} [\cos(A - B) + \cos(A + B)]$  e substituindo na Equação (5) tem-se que:

$$V_M = \frac{A^2 H_t |Y(\omega, V)|}{2} [\cos(\phi - \theta) + \cos(2\omega t + \phi + \theta)] \quad (6)$$

A partir da Equação (6) verifica-se que a diferença de fase entre os sinais  $V_{ref}$  e  $V_{en}$  está indicada na componente de frequência nula do sinal  $V_M$ . Portanto, o filtro passa-baixa, cuja função de transferência é denominada  $H_{FPB}(\omega)$ , remove a frequência  $2\omega$  e o sinal de saída do amplificador síncrono é dado por:

$$V_{sa} = \frac{A^2 H_t |H_{FPB}(\omega)|}{2} |Y(\omega, V)| \cos(\phi - \theta) \quad (7)$$

Definindo a constante do amplificador síncrono  $K = \frac{A^2 H_t |H_{FPB}(\omega)|}{2}$ , tem-se:

$$V_{sa} = K_L |Y(\omega, V)| \cos(\phi - \theta) \quad (8)$$

Pode-se concluir que na Equação (9) que a tensão de saída do amplificador síncrono é um sinal constante proporcional ao cosseno da diferença de fase entre os sinais  $V_{ref}$  e  $V_{en}$ . Quando os sinais estão em fase,  $\phi = \theta$ , tem-se que a saída é máxima e quando estão em quadratura, a saída é nula. Além disso o sinal carrega consigo o valor da admitância do dispositivo interdigitado:  $Y(\omega, V) = G(\omega, V) + j\omega C(\omega, V)$ . Variando o valor de  $\phi$  no deslocador de fase é possível selecionar a condutância, ou a capacitância, já que:

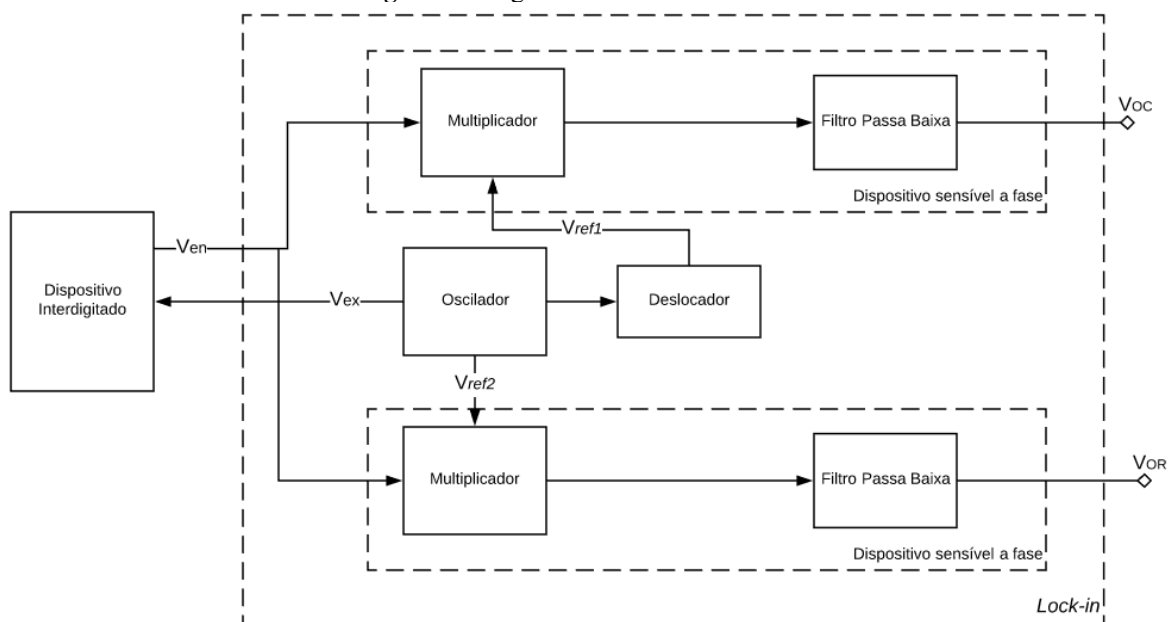
$$\phi = 0 \longrightarrow V_{SA} = K_L |Y(\omega, V)| \cos(\theta) = K_L G(\omega, V) \quad (9)$$

$$\phi = 90^\circ \longrightarrow V_{SA} = K_L |Y(\omega, V)| \text{sen}(\theta) = K_L \omega C(\omega, V) \quad (10)$$

## DESENVOLVIMENTO

A fim de medir resistência e capacitância simultaneamente no dispositivo interdigitado, foi desenvolvido um amplificador síncrono descrito pelo diagrama de blocos da Figura 3. Verifica-se que o amplificador lock-in proposto possui dois módulos composto por um multiplicador de tensão e um filtro passa-baixa cada. Em um destes módulos o sinal que entra no multiplicador está defasado de  $90^\circ$  e no outro o sinal de entrada está em fase. Desta forma, o circuito proposto pode medir simultaneamente valor da capacitância, através do processamento do sinal de tensão VOC e valor de resistência através do processamento do sinal de tensão VOR.

Figura 3: Diagrama de bloco do lock-in.



Foi implementado um oscilador em ponte de Wein (SEDRA; SMITH, 2007) com malha de controle de amplitude como mostra o circuito da Figura 4. De acordo com o critério de oscilação de Barkhausen o ganho de malha  $L(j\omega_0)$  deve ter amplitude unitária e fase zero. Ou seja:

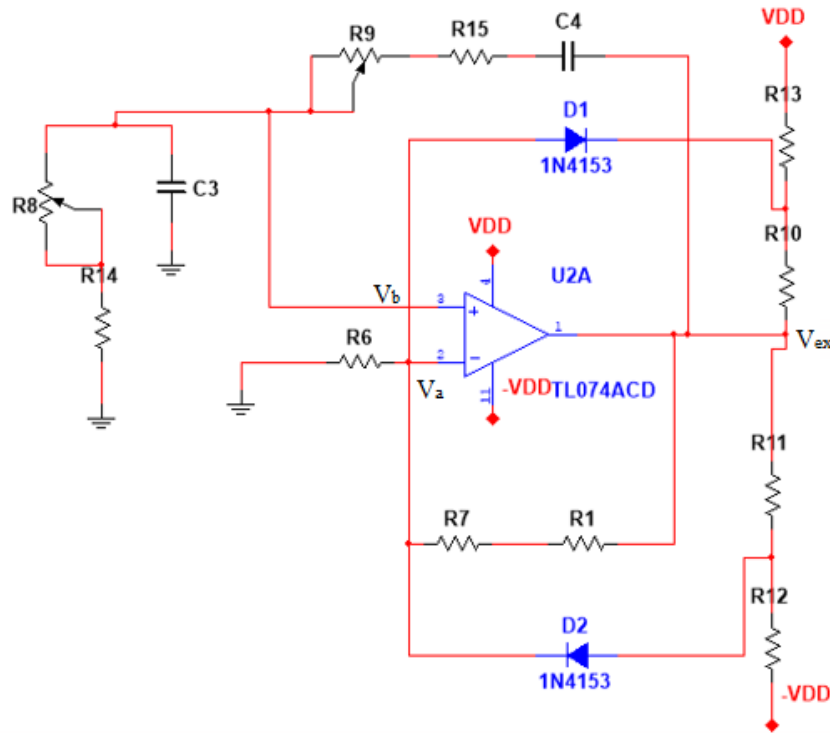
$$L(j\omega_0) = A(j\omega_0)B(j\omega_0) = 1 \quad e \quad (11)$$

$$\angle L(j\omega_0) = 0^\circ \quad (12)$$

sendo  $A(j\omega_0) = \frac{V_{ex}}{V_a}$  o ganho direto e  $B(j\omega_0) = \frac{V_{ex}}{V_b}$  o ganho reverso.

A frequência de oscilação  $\omega_0$  adotada foi 800 Hz, frequência típica para análise de fenômenos de interação antígeno-anticorpo em biossensores (SOARES, 2011).

Figura 4: Circuito do Oscilador com Ponte de Wein

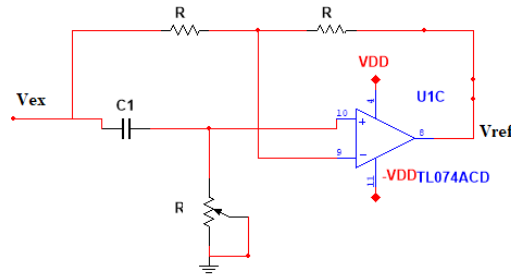


O circuito deslocador de fase é um filtro de Bessel de primeira ordem que permite a passagem do sinal em todas as frequências com o mesmo ganho unitário, mantendo a amplitude do sinal e deslocando sua fase (STANLEY, 2002). A configuração escolhida para este fim está descrita na Figura 5 e tem função transferência:

$$\frac{V_{ref}}{V_{ex}} = H_{FPT}(\omega) = \frac{j\omega RC - 1}{j\omega RC + 1}, \quad (13)$$

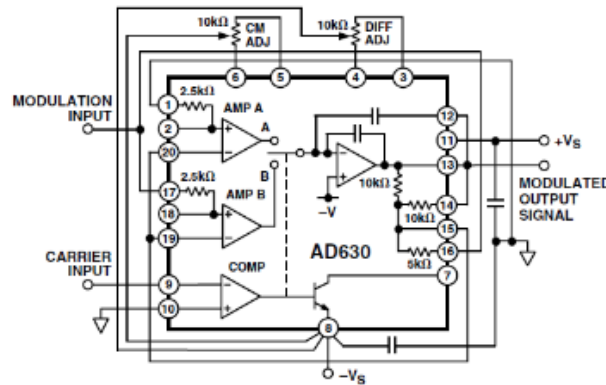
sendo  $|H_{FPT}(\omega)| = 1$  e  $\angle H_{FPT}(\omega) = 180^\circ - 2 \tan^{-1}(\omega Rc)$ .

**Figura 5:** Circuito deslocador de fase



Para o circuito multiplicado foi utilizado o circuito integrado AD630 da Analog Devices®. As conexões neste circuito integrado estão indicadas na Figura (6). Trata-se de um modulador AM comutado de ganho 1 ou 2 de acordo com as resistências entre as portas 6 e 5 e as portas 4 e 3.

**Figura 6:** Circuito integrado AD630 como modulador de ganho +1 ou -1.



Fonte: Datasheet

O filtro passa baixa implementado é do tipo filtro Sallen-Key de segunda ordem (SOARES AUGUSTO, 2011) como descrito na Figura 7 com função de transferência  $H_{FPT}(s)$  dada por:

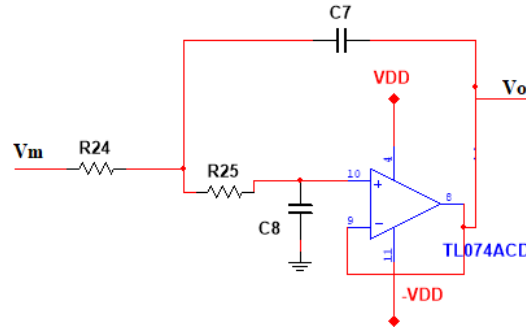
$$\frac{V_o}{V_m} = H_{FPT}(s) = \frac{(2\pi f_c)^2}{s^2 + 2\pi \frac{f_c}{Q} s + (2\pi f_c)^2} \quad (14)$$

$$Q = \frac{\sqrt{R_{24} R_{25} C_7 C_8}}{C_7 (R_{24} + R_{25})}$$

sendo seu fator de qualidade Q calculado por:

O fator de qualidade determina a aproximação do filtro Sallen-Key a configurações clássicas como filtro Butterworth, Chebyshev e Bessel.

Figura 7: Circuito do Filtro passa baixa.



Nesta etapa foram realizados testes com componentes comerciais de resistência e capacitância. A fim de se estabelecer uma relação linear entre tensão e capacitância em uma mesma base, para comparação dos resultados, escolheu-se utilizar a frequência de 800 Hz na tensão de excitação, através da ponte de Wein. Mantendo a frequência fixa, variou-se a capacitância de entrada e posteriormente a resistência. Este processo foi realizado tanto em simulação através do software de emulação de circuito Multisim® como em bancada. Os resultados foram plotados utilizando o software OriginPro®.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os requisitos para o lock-in quanto a capacitância varia da ordem de pico a nano Farad, devido sua grande extensão é necessário o ajuste do ganho do circuito derivador que acopla o capacitor ao amplificador lock-in, conseqüentemente foram obtidas duas curvas de calibração. A Figura 7 mostra o gráfico da capacitância na ordem de nano e na Figura 8 a curva de calibração na ordem de pico Farad. Podemos observar na Figura 7 os quadrados pretos representando os valores obtidos nos testes reais, em bancada, e o losango vermelho os valores simulados no Multisim®. Verifica-se uma consistência entre a simulação e a realidade aferindo a confiabilidade da simulação. Ainda na Figura 7 podemos ver a reta tracejada que interpola o maior número de pontos dos testes em bancada descrito pela função:

$$y = 3,693 \cdot 10^8 x + 0,15, \quad (16)$$

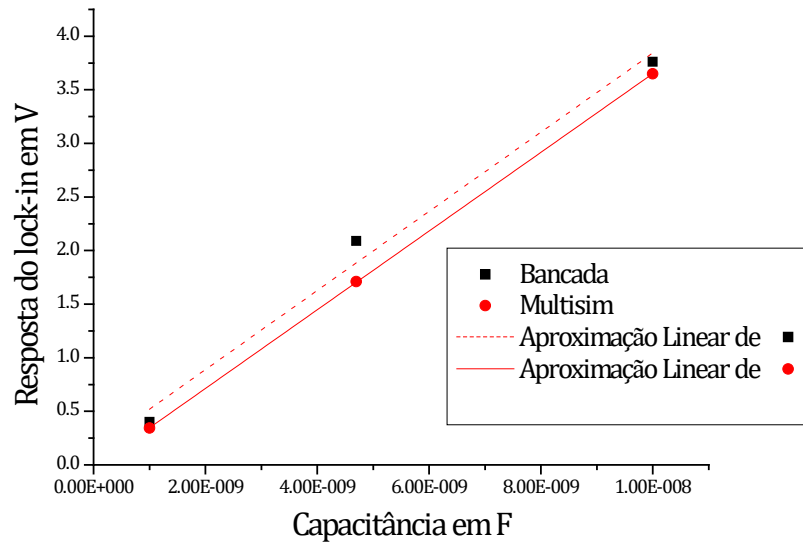
cuja unidade do coeficiente angular é dada em [Volt/Farad] e seu ajuste do erro médio quadrado ou coeficiente de determinação é  $r = 0,9777$ . Esta medida indica o grau de aproximação da reta interpolada com os pontos medidos e varia de 0 a 1, ou seja, quanto mais perto de 1 melhor é a aproximação da reta aos pontos. A reta não tracejada, na mesma figura, interpola os pontos da simulação. Na Figura 9 a reta não tracejada representa a interpolação dos valores medidos em bancada e sua função é:



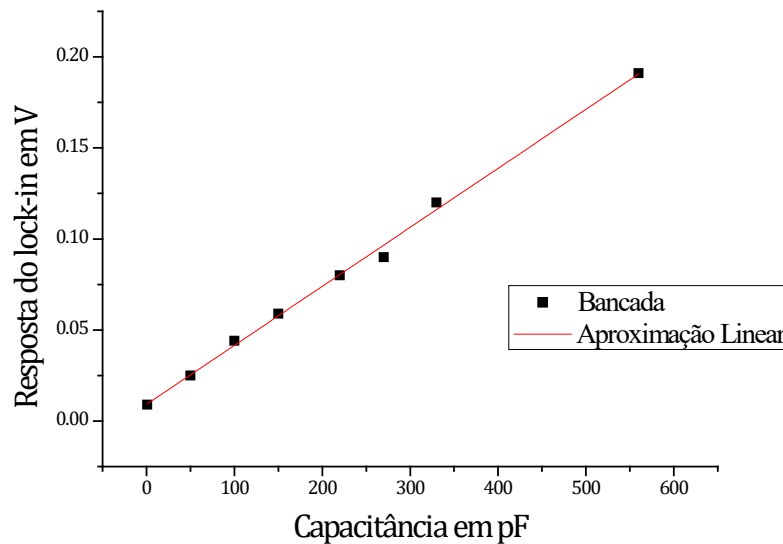
$$y = 3,241 \cdot 10^{-4} x + 0,009, \quad (17)$$

e da mesma forma seu coeficiente angular é dado em [Volt/pico Farad] e seu  $r = 0,9966$

**Figura 8** Gráfico da tensão em função da capacitância



**Figura 9** :Gráfico da tensão em função de pF

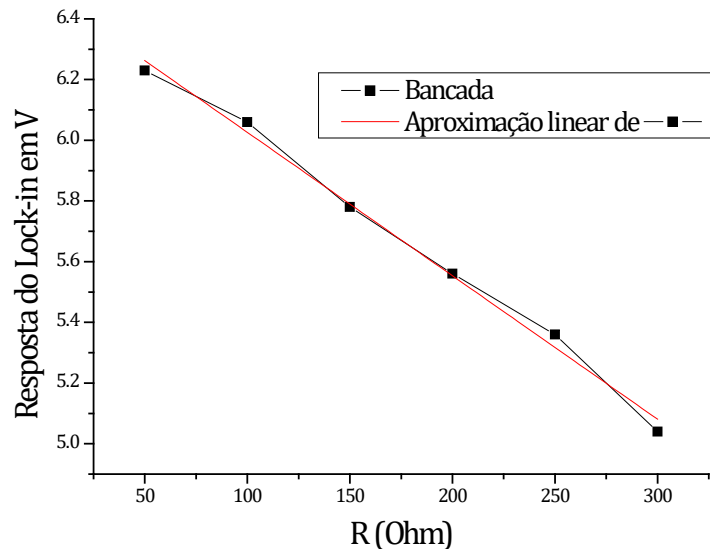


Da mesma forma como foi feito para capacitância mantemos a frequência fixa em 800Hz e variando a resistência de entrada. O resultado deste teste de bancada está descrito na Figura 10. Podemos observar que há uma relação linear inversamente proporcional entre a resistência e a tensão de saída descrita pela equação

$$y = -0,00047x + 6,497, \quad (18)$$

cujo coeficiente angular é dado em [Volt/Ohm], como esperado do circuito. Os quadrados pretos são os pontos medidos com duas casas decimais e a linha em vermelho é uma reta que interpola estes pontos esta reta tem seu ajuste do coeficiente de erro quadrado ou coeficiente de determinação  $r = 0,9922$ .

**Figura 10:** Gráfico da tensão de saída em função da resistência.

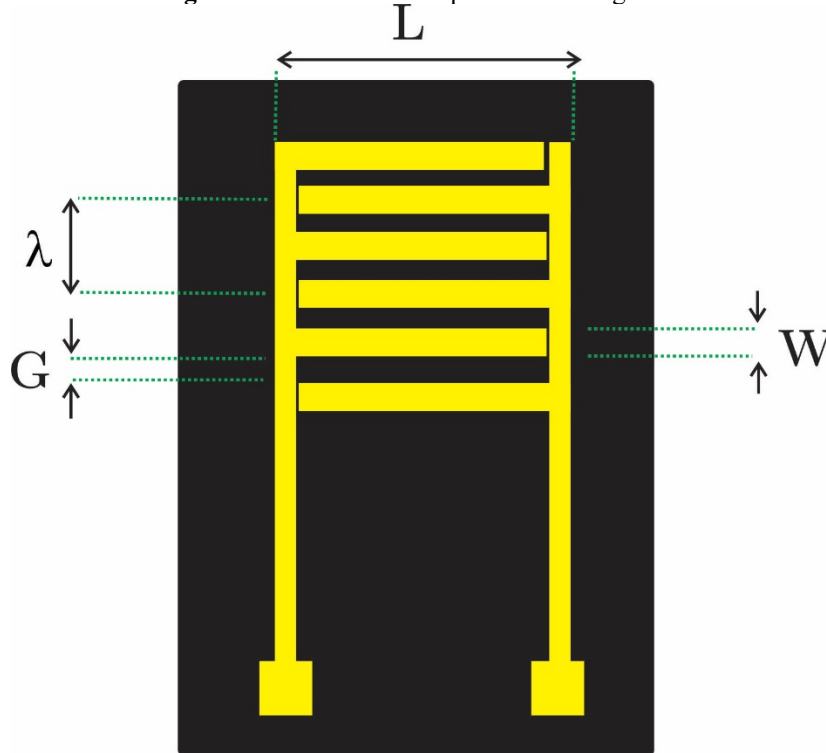


## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho proposto foi o projeto e calibração de um amplificador síncrono capaz de medir de forma simultânea a capacitância e resistência elétrica de um dispositivo interdigitado. O circuito proposto foi emulado no Multisim® e para o processo de calibração foram utilizados capacitores e resistores comerciais. Foi possível verificar a relação linear entre VOC e o valor de capacitância assim como a relação linear entre VOR e o valor da resistência, tanto na simulação como na montagem experimental. Desta forma, pode-se concluir que o amplificador síncrono concebido está apto a monitorar a impedância elétrica de um dispositivo interdigitado.

A Figura 10 mostra o desenho do dispositivo interdigitado a ser utilizado em trabalhos futuros. Ele foi fabricado junto ao Laboratório de Nanotecnologias LNNANO do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron/CNPEM, Campinas, SP. Os dígitos deste dispositivo possuem largura (W) de  $0,8 \mu\text{m}$ , comprimento (L) de  $1,5 \text{ mm}$ ,  $0,8 \mu\text{m}$  de gap (G) e contém 50 pares de dígitos. Como teste de desempenho, o circuito projetado será utilizado para analisar a impedância elétrica do referido dispositivo com aplicações em imunossensor.

Figura 11: Desenho do dispositivo interdigitado.



## REFERÊNCIAS

CALIL, S. S.; SILVA, P. R. Q. **Biossensores: Estrutura, Funcionamento e Aplicabilidade**. [s.l: s.n.].

HALL, W.; KEYNES, M. Advances in lock-in amplifiers. In: **Instrument Science and Technology**. [s.l: s.n.]. v. 15p. 395–402.

KLOOS, G. **Application of Lock-in Amplifiers in Optics**. Washington USA: SPIE, 20018. v. TT 117

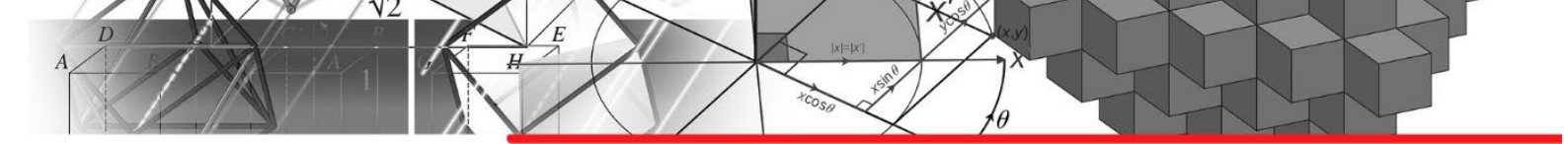
RIBEIRO, L. E. B. **Sensor Químico Baseado em Microponte de Impedância**. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2012.

SANTOS, E. J. P. **Eletrônica Analógica: Integrada e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

SEDRA, A. S.; SMITH, H. C. **Microeletrônica**. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2007.

SILVA, B. V. M. **Desenvolvimento de Sensores para Imunoensaios Aplicados ao Diagnóstico de Infarto Agudo do Miocárdio**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

SOARES AUGUSTO, J. A. **Introdução ao Projecto de Filtros e a Funções de Aproximação**. Lisboa: [s.n.].



SOARES, J. C. **Biossensores Eletroquímicos Fabricados a partir da Imobilização da Urease em Filmes de Polipirrol.** [s.l.] Universidade de São Paulo, 2011.

STANLEY, W. **Operational amplifiers with linear integrated circuits.** 4. ed. New York: Prentice Hall, 2002.



[www.editorapublicar.com.br](http://www.editorapublicar.com.br)  
[contato@editorapublicar.com.br](mailto:contato@editorapublicar.com.br)  
@epublicar  
[facebook.com.br/epublicar](https://facebook.com.br/epublicar)

# CIÊNCIAS EXATAS E INOVAÇÃO:

PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO E  
APLICABILIDADE EM SOCIEDADE

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



**2021**

[www.editorapublicar.com.br](http://www.editorapublicar.com.br)  
[contato@editorapublicar.com.br](mailto:contato@editorapublicar.com.br)  
[@epublicar](https://www.facebook.com/epublicar)  
[facebook.com.br/epublicar](https://www.facebook.com/epublicar)

# CIÊNCIAS EXATAS E INOVAÇÃO:

PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO E  
APLICABILIDADE EM SOCIEDADE

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



2021