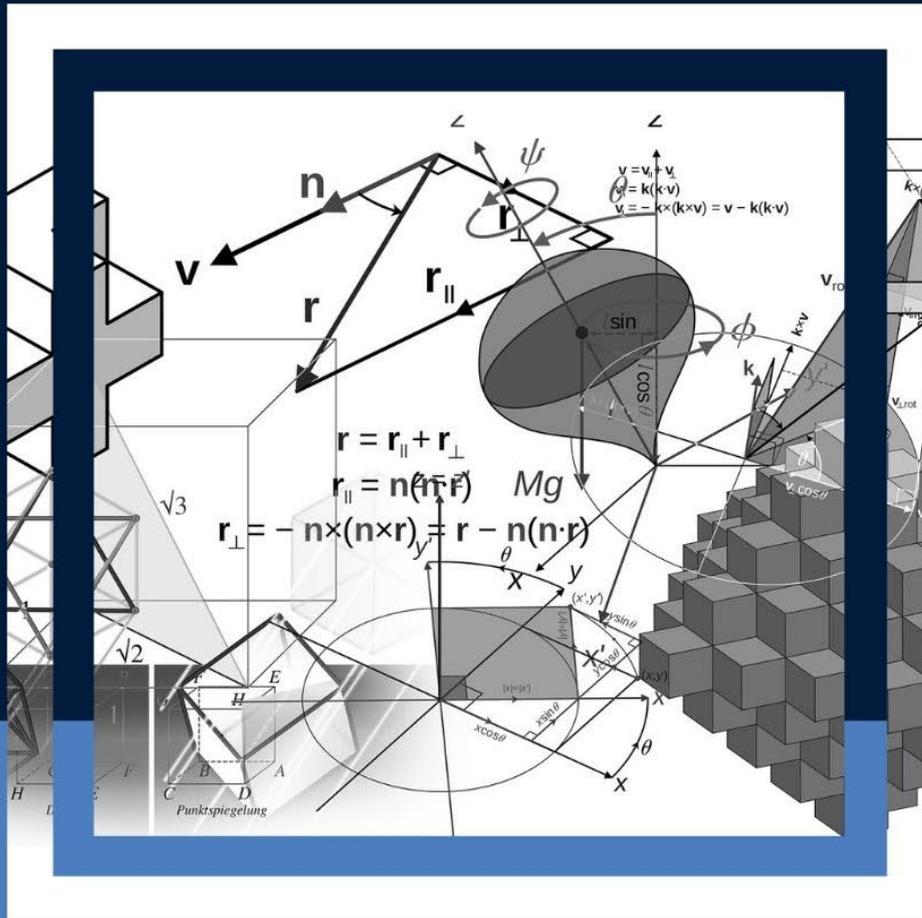


Adilson Tadeu Basquerote Silva
Érica de Melo Azevedo
Roger Goulart Mello
Organizadores



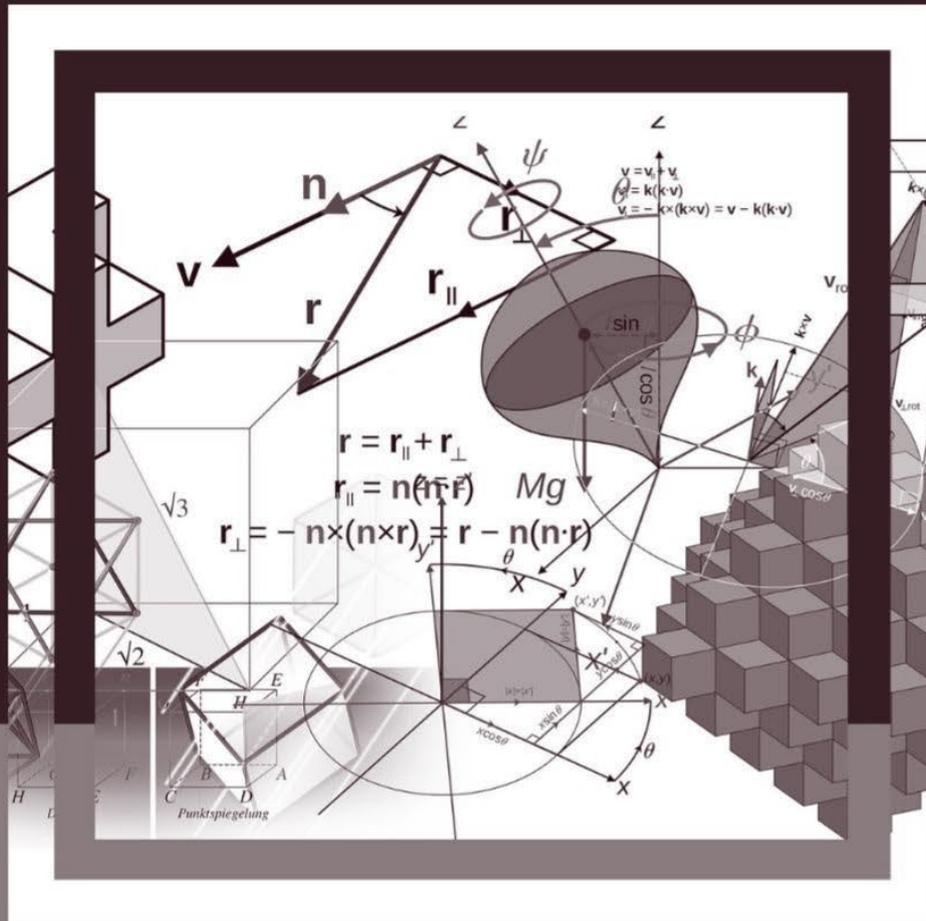
Práticas e pesquisas aplicadas em

Ciências exatas



2022

Adilson Tadeu Basquerote Silva
Érica de Melo Azevedo
Roger Goulart Mello
Organizadores



Práticas e pesquisas aplicadas em

Ciências exatas



2022

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

Editora Chefe

Patrícia Gonçalves de Freitas

Editor

Roger Goulart Mello

Diagramação

Dandara Goulart Mello

Lidiane Bilchez Jordão

Roger Goulart Mello

Projeto gráfico e Edição de Arte

Patrícia Gonçalves de Freitas

Revisão

Os autores

PRÁTICAS E PESQUISAS APLICADAS EM CIÊNCIAS EXATAS, VOLUME 1.

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

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

Conselho Editorial

Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade Federal de Santa Catarina

Alessandra Dale Giacomini Terra – Universidade Federal Fluminense

Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

Andrelize Schabo Ferreira de Assis – Universidade Federal de Rondônia

Bianca Gabriely Ferreira Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Cristiana Barcelos da Silva – Universidade do Estado de Minas Gerais

Cristiane Elisa Ribas Batista – Universidade Federal de Santa Catarina

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

Danyelle Andrade Mota – Universidade Tiradentes

Dayanne Tomaz Casimiro da Silva - Universidade Federal de Pernambuco

Deivid Alex dos Santos - Universidade Estadual de Londrina

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

Edilene Dias Santos - Universidade Federal de Campina Grande

Edwaldo Costa – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo

Elis Regina Barbosa Angelo – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo

Érica de Melo Azevedo - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

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

Jaisa Klauss - Instituto de Ensino Superior e Formação Avançada de Vitória



2022

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

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

P912 Práticas e pesquisas aplicadas em ciências exatas: volume 1 /
Organizadores Adilson Tadeu Basquerote Silva, Érica de Melo
Azevedo, Roger Goulart Mello. – Rio de Janeiro, RJ: e-Publicar,
2022.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5364-118-1

1. Ciências exatas – Pesquisa – Brasil. I. Silva, Adilson Tadeu
Basquerote. II. Azevedo, Érica de Melo. III. Mello, Roger Goulart.
CDD 500.7

Elaborado por Ana Carolina Silva de Souza Jorge – CRB6/2610

Editora e-Publicar
Rio de Janeiro, Brasil
contato@editorapublicar.com.br
www.editorapublicar.com.br



2022

APRESENTAÇÃO

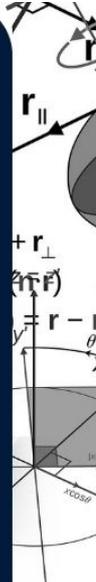
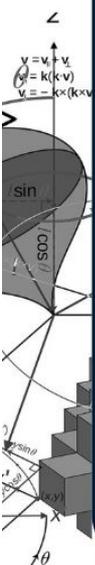
É com grande satisfação que a Editora e-Publicar vem apresentar a obra intitulada "Práticas e pesquisas aplicadas em ciências exatas, Volume 1". Neste livro engajados pesquisadores contribuíram com suas pesquisas. Esta obra é composta por capítulos que abordam múltiplos temas da área.

Desejamos a todos uma excelente leitura!

Editora e-Publicar

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	13
METODOLOGIA DE PESQUISA: CARACTERIZAÇÃO E PLANEJAMENTO	13
	Carla Gonçalves Távora Eduardo Martins Morgado
CAPÍTULO 2	20
ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO EXTRATO HIDROALCOOLICO DE FRUTOS DE COPAIFERA LANGSDORFFII DESF.	20
	Cassiano Vasques Frota Guterres Francisco Nascimento Silva Larissa Karla Barros de Alencar Paulo Ricardo Silva Nunes Maria Gizelda Gomes Lages Michelle Nunes Lima Ari Pereira de Araújo Neto Gustavo Oliveira Everton
CAPÍTULO 3	30
ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO EXTRATO HIDROALCOOLICO DE FRUTOS DE SCHINUS TEREBINTHIFOLIA (AROEIRA-VERMELHA)	30
	Cassiano Vasques Frota Guterres Francisco Nascimento Silva Larissa Karla Barros de Alencar Paulo Ricardo Silva Nunes Maria Gizelda Gomes Lages Michelle Nunes Lima Ari Pereira de Araújo Neto Gustavo Oliveira Everton
CAPÍTULO 4	40
CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS GEMOLÓGICOS DIVERSOS UTILIZANDO DISPOSITIVO DE MICROSCOPIA PORTÁTIL	40
	Ítalo Silva Martins Daniela Teixeira Carvalho de Newman José Albino Newman Fernández Ana Paula Maria de Assis



CAPÍTULO 5 61
ANÁLISES IMPLÍCITAS DE DADOS NA PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO EM
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO 61
DOI 10.47402/ed.ep.c202212095181

Diovan de Oliveira Leal
David Batista Gesuino
Érica da Silva Sipriano
Fernanda Martins Bonfante
Merisandra Cortês de Mattos Garcia
Rogério Antônio Casagrande
Luciano Antunes
Kristian Madeira

CAPÍTULO 6 72
O PROCESSO PROJETUAL NA ARQUITETURA CONSIDERAÇÕES ACERCA DO SEU
ENSINO E PRÁTICA..... 72

Fernando dos Santos Calveti
Sofia Bueno da Silva

CAPÍTULO 7 78
UTILIZAÇÃO DE VÍDEOS NAS AULAS DE QUÍMICA: UMA FERRAMENTA DE
ENSINO EM TEMPOS DE PANDEMIA 78

Raimundo Lima de Lima
Karen Moraes Borges
Edielson dos Santos Barbosa
Marcelo Farias do Espírito Santo
Josiney Farias de Araújo
Fábio Cardoso Borges

CAPÍTULO 8 87
ENSINO DE MATEMÁTICA PARA O COTIDIANO 87

Samuel Dos Santos
Luciana De Aguiar Belizio
Leonice Aparecida De Fátima Alves Pereira Mourad

CAPÍTULO 9 97
DATA LOGGER PARA APLICAÇÕES EM ENERGIA EÓLICA 97

DOI 10.47402/ed.ep.c202219979181

Maro Jinbo
Marcelo Franklin Lorensetti
Mauro Ceretta Moreira
Bruno Leonardo Alves da Silva
Carlos Filipe Gonçalves dos Santos
Fernando Michelon Marques

CAPÍTULO 10	106
SISTEMA FOTOVOLTAICO DE ENERGIA, COBERTURA VEICULAR, COLETA DE ÁGUA E SISTEMA DE MONITORAMENTO DIDÁTICO	106

DOI 10.47402/ed.ep.c2022199810181

Maro Jinbo
 Carlos Filipe Gonçalves dos Santos
 Mateus Marcon Simionato
 Sandra Aparecida Antonini
 Renato Luis Bergamo
 Matheus Henrique dos Santos do Valle Buso
 Mateus Andre Hilgert
 Pedro De Paiva Queiroz

CAPÍTULO 11	115
MODELO DA TURBINA EÓLICA DE EFEITO MAGNUS	115

DOI 10.47402/ed.ep.c2022199911181

Maro Jinbo
 Carlos Filipe Gonçalves dos Santos
 Edson Ribeiro dos Santos
 Marcelo Franklin Lorensetti
 Matheus Henrique dos Santos do Valle Buso
 Mauricio Daniel Marczal
 Mauro Ceretta Moreira

CAPÍTULO 12	124
EFICIÊNCIA DA PLATAFORMA EPAGRITEC COMO FONTE DE INFORMAÇÕES TÉCNICAS NA ÁREA AGRÍCOLA	124

Rafael Gustavo Ferreira Morales

CAPÍTULO 13	132
APROVEITAMENTO DE PÓ DE MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	132

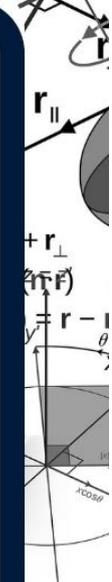
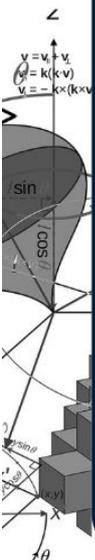
Giovanna Raizer da Silva
 Lucas Filipe Jorge Mioli
 Sylma Carvalho Maestrelli

CAPÍTULO 14	152
CORRELAÇÃO BASEADA EM REDES NEURAS ARTIFICIAIS PARA CÁLCULO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DA ÁGUA EM FASE LÍQUIDA	152

Matheus Gutierrez Leles
 Thiago Dias Martins

CAPÍTULO 15	166
DIAGNÓSTICO DE FALHAS NO TENNESSEE EASTMAN PROCESS VIA REDES NEURAS ARTIFICIAIS	166

Mateus de Paiva Moretto
 Luiz Daniel Bianchin
 Brunno Ferreira dos Santos
 Tiago Dias Martins



CAPÍTULO 16	181
A DIFICULDADE DE OBTER O AVCB E A IMPORTÂNCIA DO DOCUMENTO PARA OS PROJETOS DE COMBATE CONTRA INCÊNDIO	181
DOI 10.47402/ed.ep.c2022122016181	Pablo Rocha de Souza Abel de Oliveira Costa Filho
CAPÍTULO 17	199
PROBLEM-BASED LEARNING (PBL) E KAHOOT! COMO FERRAMENTAS EDUCACIONAIS NO “LABORATÓRIO DE FÍSICO QUÍMICA”	199
DOI 10.47402/ed.ep.c2022122117181	Bruno Cano Mascarenhas Natália Mariana dos Santos
CAPÍTULO 18	213
ANÁLISE TÉRMICA NA CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS EMULSIVOS PARA USO CAPILAR.....	213
DOI 10.47402/ed.ep.c2022122218181	Carina Soares Do Nascimento Neila De Paula Pereira
CAPÍTULO 19	229
DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE EMBREAGENS DE CAMINHÕES E MÁQUINAS AGRÍCOLAS EXISTENTES NO MERCADO BRASILEIRO	229
DOI 10.47402/ed.ep.c2022122319181	Wendel Raian Gomes Jamson Justi Edrilene Barbosa Lima Justi Jadson Justi Charles Campoe Martim
CAPÍTULO 20	242
DETERMINAÇÃO ELETROANALÍTICA DE VITAMINA C EM AMOSTRAS FARMACÊUTICAS E AMBIENTAIS UTILIZANDO ELETRODOS DE BAIXO CUSTO	242
DOI 10.47402/ed.ep.c2022122420181	Jainara da Silva Costa Rayza Borba de Lima Quésia Guedes da Silva Castilho
CAPÍTULO 21	256
UMA PROPOSTA DIDÁTICA DO USO DO GEOGEBRA NAS AULAS DE GEOMETRIA	256
DOI 10.47402/ed.ep.c2022122521181	José Hélio Henrique de Lacerda Helder Flaubert Lopes de Macêdo Nelson Silva Sousa



CAPÍTULO 22 263
REFINO DE ÓLEOS VEGETAIS POR DEGOMAGEM ÁCIDA E AQUOSA VISANDO A
PRODUÇÃO DE BIODIESEL 263

DOI 10.47402/ed.ep.c2022122622181

José Sebastião Cidreira Vieira
Davina Camelo Chaves
Makson Rangel de Melo Rodrigues
Rayla Conceição Cavalcante
Efraim Costa Pereira
Agustinho Rodrigues Pereira
Thyago Brito Morais
Hugo da Costa Reis

CAPÍTULO 23 279
CLASSIFICAÇÃO DE PNEUMONIA VIA IMAGENS DE RADIOGRAFIA DE TÓRAX
USANDO REDES NEURAIS CONVOLUCIONAIS 279

DOI 10.47402/ed.ep.c2022122723181

Yan Teixeira da Silva
Jefferson Oliveira Andrade
Karin Satie Komati

CAPÍTULO 24 293
PESQUISA APLICADA: AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE BIOLÓGICA POR EFLUXO DE
CO₂ 293

DOI 10.47402/ed.ep.c2022122824181

Cristian Pessotto
Fernanda Maria Xczepaniak
Jaqueline Nicolini
Keller Paulo Nicolini

CAPÍTULO 25 303
CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS 303

DOI 10.47402/ed.ep.c2022122925181

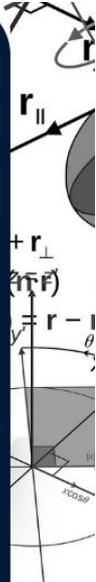
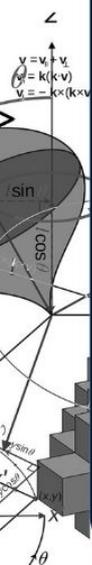
Kevin Bezerra Ibiapina
Caylanne Mendes de Souza
Maria da conceição Araújo Pereira
José Rodrigo Alves de Lima

CAPÍTULO 26 315
AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE AGREGADOS LEVES COM RESÍDUOS E ANÁLISE
DA UTILIZAÇÃO DESSES AGREGADOS EM CONCRETOS COM FOCO EM
DURABILIDADE E DESEMPENHO (NBR 15.575): ESTUDO DE CASO PARA
VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DESSE AGREGADO NA PARAÍBA
..... 315

DOI 10.47402/ed.ep.c2022123026181

Kevin Bezerra Ibiapina
Maria da conceição Araújo Pereira
Karla Simone da Cunha Lima Viana
Caylanne Mendes de Souza
Emanuel Jeronimo Lima Oliveira
Caroline Muñoz Cevada Jeronimo

CAPÍTULO 27	323
USO DE HIDROGÊNIO COMO FONTE DE ENERGIA.....	323
DOI 10.47402/ed.ep.c2022123127181	Yasmin Teles Barboza João Victor Teixeira Neves Claudio Borba Marilia Rafaele Oliveira
CAPÍTULO 28	341
A REDUÇÃO DO CUSTO DO TRANSPORTE COM APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DO LEAN MANUFACTURING.	341
DOI 10.47402/ed.ep.c2022123228181	Moisés Andrade Barros Siomara Dias da Rocha
CAPÍTULO 29	353
ASPERSÃO TÉRMICA: UMA REVISÃO SOBRE AS TÉCNICAS DE DEPOSIÇÃO DE RECOBRIMENTOS	353
DOI 10.47402/ed.ep.c2022123329181	Paulo Cesar Ultramarini Junior Felipe de Souza Miranda Cristian Cley Paterniani Rita Eduardo Sant'Ana Petraconi Prado Gilberto Petraconi Filho Argemiro Soares da Silva Sobrinho
CAPÍTULO 30	372
REDES SEM FIO EM AMBIENTES FLORESTAIS COM USO DE INTERNET DAS COISAS (IOT)	372
DOI 10.47402/ed.ep.c2022123430181	Paulo Henrique de P. Araújo Siomara D. da Rocha
CAPÍTULO 31	380
O USO DO OPENEHR COMO ALTERNATIVA PARA INTEROPERABILIDADE DE DADOS DE REGISTRO ELETRÔNICO EM SAÚDE.....	380
DOI 10.47402/ed.ep.c2022123531181	Samyr Santos Delfino Marcos Antonio Dias da Silva
CAPÍTULO 32	387
A IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E TECNOLOGIA DE RASTREABILIDADE APLICADOS A MADEIRA PARA A SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	387
DOI 10.47402/ed.ep.c2022123632181	Camila Stephanie Fernandes Linhares Suzana Arleno Souza Santos





CAPÍTULO 1

METODOLOGIA DE PESQUISA: CARACTERIZAÇÃO E PLANEJAMENTO

Carla Gonçalves Távora
Eduardo Martins Morgado

RESUMO

A metodologia é uma forma de descrever a forma como foi realizada os procedimentos de uma pesquisa científica. O objetivo é caracterizar as características da metodologia de pesquisa. O desenvolvimento ocorreu por meio de pesquisas bibliográficas com a abordagem qualitativa, utilizando artigos científicos nos últimos dez anos. Os resultados e discussões abordam os tipos de pesquisas, técnicas de pesquisas, métodos de análise e abordagem dos dados. A importância da metodologia é devido sua descrição das etapas, dos tipos de pesquisas, dos envolvidos na pesquisa, das formas de análise, da forma de construção teórica, dos aspectos gerais, dos procedimentos e das abordagens. Portanto, é importante estabelecer um planejamento para gerar uma melhor organização das ideias e textos, depois da escolha do tema, justificativa, objetivos, problematização e hipóteses, a metodologia é composta por esse planejamento de quatro etapas para a realização das etapas anteriores, utilizando características fundamentais para a coleta de dados, o detalhamento das etapas é fundamental para a compreensão sobre “como, quando e onde” para a análise.

PALAVRAS-CHAVES: Ciência. Pesquisa. Métodos. Técnicas. Tipos.

INTRODUÇÃO

A metodologia é caracterização da pesquisa, onde aponta o caminho de desenvolvimento de uma pesquisa, ou seja, discorre os métodos e técnicas abordadas para o desdobramento do projeto. A importância da metodologia está relacionado com a coleta de respostas, pois, através de seus passos a pesquisa é construída (SILVA et al., 2021).

Segundo Prodanov e Freitas (2013) definem que a metodologia são métodos para uma pesquisa acadêmica, onde suas técnicas aplicadas permitem examinar, analisar e descrever os resultados coletados.

Qualquer atividade por mais simples que seja necessita de um método para ser realizada. Método é um conjunto de processos para atingir determinados resultados. Emprega-se em qualquer domínio para se alcançar determinado fim ou fins. Na Grécia Antiga *methodos* significava “caminho para chegar a um fim”. Com o passar do tempo o termo generalizou-se passando a ser empregado para expressar outras coisas como “maneira de agir”, “tratado elementar”, “processo de ensino” etc. (LEÃO, 2016, p. 20).

A metodologia é de extrema importância para o conhecimento científico, em qualquer área do conhecimento, o processo da produção requer uma metodologia/método para a realização de todas as etapas, assim, o método é um caminho (ZAMBELLO et al, 2018).



O objetivo é caracterizar as características da metodologia de pesquisa. A justificativa para esse estudo é devido às referências sobre as características da metodologia de pesquisa estarem antigas e em diferentes materiais, assim, o estudo visa trazer definições atualizadas e formar um registro completo com suas características, possibilitando que os pesquisadores utilizem essa pesquisa como referência.

A metodologia de desenvolvimento dessa pesquisa bibliográfica, ocorreu por meio da coleta de artigos científicos nos últimos dez anos (2012-2022) para auxiliar na contextualização do tema. A seleção de dados bibliográficos foi realizado pelo banco de dado do Google Acadêmico, a análise de dados é com o método qualitativo e histórico.

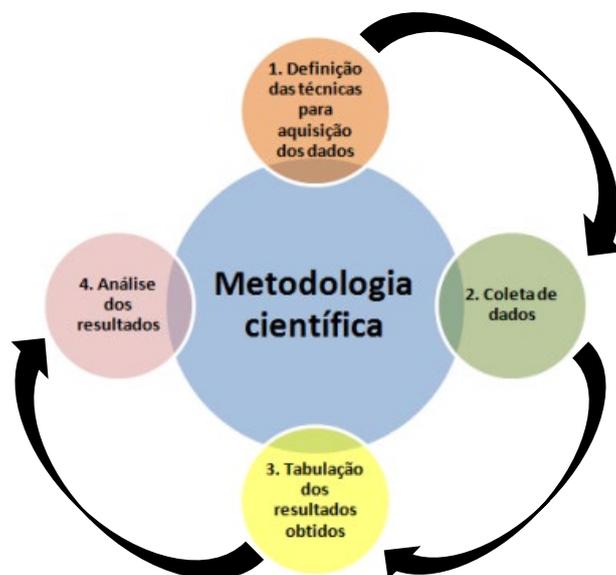
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma metodologia é capaz de organizar a pesquisa, mostrando os caminhos que o autor realizou para atender os objetivos propostos na pesquisa, a metodologia é a definição do tipo de pesquisa e seus métodos e técnicas para chegar a uma conclusão, desde as etapas, instrumentos utilizados e as formas como os dados são coletados e analisados (BLOISE, 2020).

A metodologia é composta por métodos, técnicas e tipos, os quais são estratégias de realização para uma pesquisa, projeto e estudo. No método existe as técnicas para a ação da pesquisa, assegura a instrumentação específica para essa ação, o método é caminho para chegar nos resultados (LEÃO, 2016), e os tipos são a denominação da metodologia, a qual engloba os tipos de procedimentos do desenvolvimento do projeto.

A Figura 1 apresenta a estrutura de uma metodologia de pesquisa.

Figura 1: Componentes da metodologia de pesquisa.



Fonte: adaptado de Praça (2015, p.11).



A Figura 1 apresenta as técnicas de aquisição de dados, coleta de dados, tabulação e análise dos resultados. Nas técnicas de aquisição o tipo, as técnicas e os métodos de pesquisa utilizados para a coleta de dados, a coleta de dados é a realização do tipo, das técnicas e dos métodos podendo ser adaptados ou mudados conforme a necessidade para atingir um resultado. Na tabulação dos resultados é a forma como serão mostrados esses resultados em gráficos, quadros, tabelas, etc., e a última etapa é a análise dados utilizando as técnicas de análise de dados (PRAÇA, 2015).

Os tipos de pesquisas de procedimentos são bibliográfica; documental; estudo de caso; etnográfica; campo; ação; participante; experimental e exploratória. Define Mendes (2016) que são tipos de pesquisa para um processo científico investigatório, são elas:

- Pesquisa bibliográfica: uma investigação por meio de fontes e textos de outros autores;
- Pesquisa documental: utiliza como fonte principal os documentos com relação ao tema (jornais, fotos, filmes, etc.);
- Estudo de caso: utiliza os dados e as informações sobre um grupo junto de análises teóricas de casos específicos;
- Pesquisa etnográfica: entender os processos cotidianos de um determinado grupo;
- Pesquisa de campo: coleta das informações em condições naturais para a análise de intervenção;
- Pesquisa-ação: análise e propõe intervenção em seu objeto de pesquisa;
- Pesquisa participante: interage com o objeto de pesquisa;
- Pesquisa experimental: manipula em ambientes de controle em condições naturais;
- Pesquisa exploratória: desenvolver e/ou esclarecer conceitos.

Conforme Mendes (2016) há diversas técnicas de pesquisa, sendo procedimentos práticos e operacionais na pesquisa, é importante ressaltar que as técnicas e os tipos de pesquisa estão inter-relacionados. As principais técnicas são: entrevistas, história de vida, observação, grupos de estudos, grupo focal, grupo de controle, documentação, testes e sociometria.

As pesquisas fazem uso de técnicas e procedimentos conforme o método de pesquisa escolhido, o método é o rumo que será desenvolvido, assim, os outros métodos e técnicas são as formas de decorrência dessa escolha inicial (BLOISE, 2020).

Há os métodos de análise dos dados, como pesquisa quantitativa, onde há a análise quantificável com números, opiniões e informações contáveis com abordagem de cálculos, estatísticas, etc., a pesquisa qualitativa é uma análise de crenças, situações, a natureza de algo,

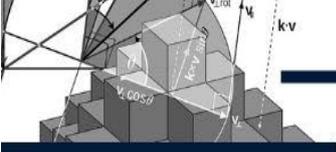


os valores de um grupo, teorias, etc., e há a pesquisa quantitativo-qualitativa com a abordagem de ambos métodos de análise dos dados (MENDES, 2016).

Para Zambello et al., (2018) há métodos de abordagem dos dados como indutivo, dedutivo, hipotético-dedutivo, dialético, estatístico, etnográfico, comparativo, histórico, monográfico, tipológico, funcionalista, experimental e estruturalista (SILVA et al., 2021).

Conforme Silva et al., (2021) e Zambello et al., (2018) definem esses métodos como:

- Método Indutivo: uma definição específica da generalização de teorias, realizando um levantamento de dados para identificar um conhecimento mais generalizado;
- Método Dedutivo: generalização de teorias para as específicas, como dados, informações, relações já existentes e conhecidas para um resultado geral do assunto;
- Método Hipotético-Dedutivo: sem uma teoria completa, há a criação de teorias sobre o assunto; um método de tentativa e erro;
- Método Dialético: baseado em ideias;
- Método Estatístico: qualifica dados por classificação, fatos, fenômenos e processos para uma relação entre si, realizado através de dados quantitativos;
- Método Etnográfico: uma observação direta para identificar e descrever características de fenômenos ou grupos sociais;
- Método Comparativo: analisar semelhanças e/ou diferenças entre fenômenos ou grupos sociais;
- Método Histórico: análise e compreensão da trajetória de fatos desde seu contexto histórico;
- Método Experimental: coleta de informações por meio da manipulação para analisar e verificar se ocorrerá em situações diferentes;
- Método Monográfico: estudos profundos e completos de uma área para a análise com outras áreas similares;
- Método Tipológico: um estudo de modelo ideal como modelos de armas utilizadas em um ataque aéreo; modelo de aula ministrada no curso de Comunicações, etc. para identificar padrões;
- Método Funcionalista: estuda a população por suas funções na sociedade, como a família, as instituições privadas, as governamentais, etc.
- Método estruturalista: cria-se um modelo para estudo, partindo da realidade, para estudar a realidade.



É importante que uma metodologia seja composta por procedimentos, desde a caracterização do tipo de pesquisa, método de investigação; método de codificação e suporte teórico adquirido (ANA e LEMOS, 2018).

Há suporte de dados textuais (revistas, artigos científicos, livros, jornais, etc.); cartográficos (mapas, coordenadas fluviais e cartas marítimas, etc.); iconográficos (fotos, pinturas, estátuas, etc.); filmográficos (filmes, etc.); sonoros (músicas e entrevistas gravadas, etc.); micrográficos (microfilme e microficha); informáticos (HD, disquete, CD, MP4, MP3, etc.) (ZAMBELLO et al, 2018).

Segundo Carvalho et al., (2019) a metodologia é complexa, mas uma das partes do projeto de pesquisa, é recomendado que essa parte seja construída com cuidado e atenção, pois é responsável pelos procedimentos e pelas abordagens utilizadas no momento de realização do estudo.

Os pontos principais da metodologia é a indicação do tipo de pesquisa e suas etapas de desenvolvimento, possibilitando um texto organização com especificação do foco teórico, aspectos gerais (onde, com quem e quantos sujeitos), os procedimentos e as formas de desenvolvimento (CARVALHO et al., 2019).

A falta de uma metodologia definida no trabalho não demonstra aos leitores as características da pesquisa, assim, não sabem a dimensão que foi aplicada para a coleta de dados e conseguir a conclusão apresentada. Explica Yin (2015) a metodologia ajuda a fornecer um melhor entendimento.

A metodologia é um auxílio para sistematizar e planejar a pesquisa, a qual auxilia também na escolha do tema, a delimitação, problematização, elaboração das hipóteses e dos objetivos, na escolha dos tipos, métodos e técnicas de metodologia adequada para o tema, a seleção da bibliografia e na elaboração dos textos (SAMPAIO, 2013).

Como a metodologia tem a capacidade de proporcionar uma compreensão e análise da construção do conhecimento, é essencial estabelecer estrutura descrita do tema para facilitar a caracterizar a metodologia, começando pela escolha do tema, justificativa, objetivos, problematização e hipóteses, assim, identificando a metodologia para atender esses requisitos (PRAÇA, 2015).



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa apresentou todas as características que compõem a metodologia de pesquisa, os tipos de pesquisas, técnicas de pesquisas, métodos de análise e abordagem dos dados, e os dados. Sendo características principais e essenciais para a denominação de uma pesquisa, pois, contribuem significativamente para o entendimento do desenvolvimento do tema.

Por isso, o recomendado é estabelecer um planejamento para gerar uma melhor organização das ideias e textos, depois da escolha do tema, justificativa, objetivos, problematização e hipóteses, a metodologia a etapa para a realização das etapas anteriores, podendo mudar ou acrescentar conforme a necessidade de atingir um objetivo.

Com as etapas iniciais estabelecidas, a próxima etapa é a metodologia, composta por um planejamento de 4 etapas para a descrição e realização, sendo elas: as técnicas de aquisição de dados, coleta de dados, tabulação e análise dos resultados. Nas técnicas de aquisição de dados é a escolha do tipo, das técnicas e dos métodos, como:

- Tipos de pesquisa: bibliográfica, documental, estudo de caso, etnográfica, campo, ação, participante, experimental ou exploratória;
- Técnicas de pesquisa: entrevistas, história de vida, observação, grupos de estudos, grupo focal, grupo de controle, documentação, testes ou sociometria;
- Métodos de abordagem de dados: indutivo, dedutivo, hipotético-dedutivo, dialético, estatístico, etnográfico, comparativo, histórico, monográfico, tipológico, funcionalista, experimental e estruturalista.

A coleta de dados é a etapa de realização do tipo, das técnicas e dos métodos estabelecidos, assim, realizando alteração ou adição conforme a necessidade para atender os objetivos da pesquisa. A tabulação dos resultados é apresentação dos dados coletados, podendo realizar uma segunda coleta se for necessário, utilizando gráficos, descritores, tabelas, quadros, etc. E a última etapa é a análise utilizando as técnicas de análise de dados, como: pesquisa quantitativa, pesquisa qualitativa e pesquisa quantitativo-qualitativa.

Portanto, a metodologia é composta por esse planejamento de quatro etapas, onde há descritores sobre suas características de realização, é recomendado bastante detalhes em cada etapa, possibilitando que o leitor e área acadêmica tenha uma maior compreensão sobre “como, quando e onde” da pesquisa para análise dos resultados.



AGÊNCIA DE FOMENTO

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

ANA, W. P. S.; LEMOS, G. C. Metodologia científica: a pesquisa qualitativa nas visões de Lüdke e André. **Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar**, Mossoró, v. 4, n. 12, 2018.

BLOISE, D. M. A importância da metodologia científica na construção da ciência. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, Ano 05, Ed. 06, Vol. 06, pp. 105-122. Junho de 2020.

CARVALHO, L. O.; DUARTE, F. R.; MENEZES, A. H. N.; SOUZA, T. E. S. **Metodologia científica: teoria e aplicação na educação a distância**. Petrolina-PE, 2019.

LEÃO, L. M. **Metodologia do Estudo e da Pesquisa: facilitando a vida dos estudantes, professores e pesquisadores**. Petrópolis: Vozes, 2016.

MENDES, E. da C. **Métodos e técnicas de pesquisa**. Serra, ES: Centro de Ensino Superior Fabra, 2016.

PRAÇA, F. S. G. Metodologia da pesquisa científica: organização estrutural e os desafios para redigir o trabalho de conclusão. **Revista Eletrônica “Diálogos Acadêmicos”**, 08, nº 1, p. 72-87, JAN-JUL, 2015.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Versão online. 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SAMPAIO, T. C. A. S. A importância da metodologia da pesquisa para a produção de conhecimento científico nos cursos de pós-graduação: A singularidade textual dos trabalhos científicos jurídicos. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Direito**, 23(25), 2013.

SILVA, D. F. da.; SILVA, D. A. F. da.; SILVA, E. L. da.; RODRIGUES, T. M. **Metodologia de pesquisa**. 2. ed. Três Corações: Escola de Sargentos das Armas, 2021.

YIN, R. K. **O Estudo de caso**. Porto Alegre: Bookman, 2015

ZAMBELLO, A. V.; SOARES, A. G.; TAUIL, C. E.; DONZELLI, C. A.; FONTANA, F.; CHOTOLLI, W. P. **Metodologia da pesquisa e do trabalho científico**. Organizador: Thiago Mazucato. Penápolis: FUNEPE, 2018.



CAPÍTULO 2

ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO EXTRATO HIDROALCOOLICO DE FRUTOS DE COPAIFERA LANGSDORFFII DESF.¹

Cassiano Vasques Frota Guterres
Francisco Nascimento Silva
Larissa Karla Barros de Alencar
Paulo Ricardo Silva Nunes
Maria Gizelda Gomes Lages
Michelle Nunes Lima
Ari Pereira de Araújo Neto
Gustavo Oliveira Everton

RESUMO

Este estudo avaliou a atividade antioxidante do extrato hidroalcóolico de *Copaifera langsdorffii* Desf. O material vegetal foi coletado no município de São Luís (MA). O extrato hidroalcóolico foi obtido por maceração a frio de 200g das cascas de *Copaifera langsdorffii* triturados em solvente etanol extrator 70% (v/v) com filtragem após 7 dias, rotaevaporação e liofilização. A toxicidade foi avaliada frente *Artemia salina* Leach. Para atividade antioxidante utilizou os métodos de descoloração de radicais ABTS, DPPH e Hidroxila. O teste frente *Artemia salina* comprovou a atoxicidade do extrato hidroalcóolico analisado. O extrato apresentou atividade antioxidante ativa frente os métodos testados, sendo seu melhor desempenho frente os radicais DPPH com uma Concentração Eficiente 50% (CE₅₀) de 58,11 ppm, seguido pela CE₅₀ de 86,95 ppm frente os radicais ABTS e CE₅₀ de 113,92 ppm frente os radicais hidroxila. Os resultados indicam que o extrato hidroalcóolico avaliado é composto por substâncias que propiciam e incentivam sua aplicação, devido ao seu alto potencial para atividade antioxidante visando aplicações na área de alimentos e/ou saúde.

PALAVRAS-CHAVE: antioxidante; extrato; *Copaifera*.

INTRODUÇÃO

Os fitoterápicos são considerados fontes para fomentar a síntese de novas possibilidades em termos de fármacos. Atesta-se que aproximadamente 40% dos medicamentos disponíveis no mercado foram produzidos a parti de produtos naturais, 25% refere-se as plantas, 13% advém de microrganismos e os 3% converte-se por meio de origem animal. Estima-se que já foram descobertos cerca de 140 mil metabólitos secundários, nos quais já foram isolados e identificados, todavia ainda não foram contemplados todos mediante a respectivos testes biológicos, levando em consideração que dentro deste conjunto universo, somente 10% da

¹ Laboratório de Pesquisa e Aplicação de Óleos Essenciais (LOEPAV/UFMA).



biodiversidade mundial foram exploradas através de pesquisas (DIAS et al., 2012; FERREIRA, 2020).

Ressalta-se, que os produtos naturais apresentam em sua composição estruturas consideradas únicas com potencialidades significativas com ênfase na formulação de medicamentos, além de produtos na área de cosméticos, veterinário, agrônomo e alimentícios (LAHLOU, 2013; DAUDT, 2016).

É notório que várias aplicações biotecnológicas vêm sendo corriqueiramente analisadas com base em materiais vegetais, para realmente trazer à tona a capacidade demonstrada pelo uso popular ou mesmo pra classificar os seus respectivos constituintes e derivados. Entre diversas atividades biológicas empregadas, destaca-se a atividade antioxidante, esta atividade apresenta-se como relevante devido, em parte, a atuação de espécies reativas de oxigênio ou radicais participantes em uma diversidade de processos patológicos (SILVA et al., 2010; PROVENSI, 2017).

Quimicamente, conceitua-se o termo antioxidante como qualquer substância que, quando em baixas concentrações equivalentes ao substrato é passível de sofrer oxidação. Neste contexto, infere-se que o radical é toda espécie química que contém um ou mais elétrons não emparelhados. Estes caracterizam-se como compostos instáveis e reativos, assim, eles alcançam a estabilidade doando o elétron desemparelhado (acarretando na oxidação), ou retirando um elétron de outra molécula modificando acentuadamente a sua estrutura e conformação de componentes de suas células (AQUINO et al., 2017; VERRUCK et al., 2018).

Evidencia-se, que os radicais livres são sintetizados endogenamente ou alcançados de forma exógena, e aumento em seu quantitativo implica no estresse oxidativo. Dessa forma, há um aumento do interesse por estes produtos nos setores de alimentos, cosméticos e fármacos, podendo serem possíveis substitutos dos antioxidantes sintéticos capazes de acarretar em enfermidades agudas como o câncer. Assim, os extratos oriundos de materiais vegetais tornam-se importantes fontes naturais de antioxidantes (XAVIER et al., 2020).

Aliás, alguns extratos vegetais apresentam em sua essência o poder de retardar ou mesmo inibir a oxidação de moléculas atenuando as reações de oxidação em cadeia e efetivando o seu efeito protetor garantindo a sua excelência como fitoterápicos. Além das doenças agudas, o estresse oxidativo é responsável por desencadear doenças consideradas como degenerativas, entre elas, como asma, doenças gastrointestinais, doenças cardíacas e Alzheimer. Tais ações bioativas são justificadas pela presença de metabolitos secundários, como os compostos



fenólicos (ácidos fenólicos e flavonoides) (MAHBOUBI et al., 2013; LUSHCHAK, 2014; PAULA et al., 2019).

A espécie *Copaifera langsdorffii* Desf popularmente conhecida como copaíba, tem uma diversidade considerável em relação ao território brasileiro, tornando-se destaque diante de inúmeras espécies nativas do cerrado. A produção do óleo de copaíba, ocorre pela exsudação dos troncos de suas árvores, os seus conhecimentos medicinais fazem parte da cultura indígena, direcionando a sua ação para atividades anti-inflamatórias, antitumoral, antioxidante e cicatrizantes de feridas (QUEMEL., et al 2021). Diante das funções citadas, pode-se atribuir tais atividades devido à presença de alguns constituintes químicos como a cumarina, ácido polialítico, ácidos graxos e ácido palmítico.

Visando o potencial conhecido do extrato hidroalcolico citado, este estudo teve por objetivo avaliar a atividade antioxidante do extrato hidroalcolico de *Copaifera langsdorffii* pelos métodos de descoloração de radicais ABTS, DPPH e hidroxila.

METODOLOGIA

COLETA DO MATERIAL VEGETAL E PREPARO DO EXTRATO HIDROALCÓOLICO

As amostras de cascas de *Copaifera langsdorffii*, foram coletadas no horário matutino no município de São Luís. Após a coleta, as amostras vegetais foram transportadas para o Laboratório de Pesquisa e Aplicação de Óleos Essenciais (LOEPAV/UFMA), onde foram pesadas, trituradas e armazenadas para preparo do extrato hidroalcolico. Para o preparo do extrato hidroalcolico utilizou-se 200g do material vegetal, empregou-se o processo de maceração com solvente extrator etanol P.A 70% (v/v) seguindo a proporção 1:10. A solução obtida após 7 dias foi filtrada e concentrada em evaporador rotativo sob pressão reduzida, após o processo o extrato foi liofilizado para posteriores análises (HARBORNE, 1998).

TOXICIDADE

Para a avaliação da letalidade de *Artemia salina* Leach, seguiu-se a metodologia descrita por Meyer et al. (1982). Preparou-se uma solução salina estoque do extrato hidroalcolico na concentração de 10.000 mg L⁻¹ e Tween 80 (tenso ativo). Aliquotas de 5, 50 e 500 µL foram transferidas para tubos de ensaio e completadas com solução salina previamente preparada até 5 mL, obtendo concentrações de 10, 100 e 1000 mg L⁻¹, respectivamente. Todos os testes foram realizados em triplicata, onde dez larvas na fase de náuplio foram transferidas para cada um dos tubos de ensaio.



Para o branco utilizou-se 5 mL de solução salina, para o controle positivo $K_2Cr_2O_7$ e para controle negativo 5 mL de uma solução 4 mg L^{-1} de Tween 80. Após 24 horas, fez-se a contagem de larvas vivas, onde as mortas eram consideradas como aquelas que não se movimentaram durante a observação e nem com a leve agitação do frasco. O critério estabelecido por Dolabela (1997) foi adotado para classificar a toxicidade dos extratos vegetais, sendo considerados altamente tóxicos quando $CL_{50} \leq 80 \text{ mg L}^{-1}$, moderadamente tóxico quando $80 \text{ mg L}^{-1} \leq CL_{50} \leq 250 \text{ mg L}^{-1}$ e levemente tóxico ou não tóxico quando $CL_{50} \geq 250 \text{ mg L}^{-1}$. A análise estatística dos dados é realizada de acordo com o método Reed&Muench (1938) e o intervalo de confiança através do método de Pizzi (1950).

AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE POR ELIMINAÇÃO DE RADICAIS HIDROXILA ($R-OH\cdot$)

A atividade antioxidante foi feita pelo método espectrofotométrico de eliminação de radicais hidroxila do ácido salicílico conforme os métodos descritos por Smirnoff&Cumbes (1989) e Sundarajan et al. (2016). Os extratos hidroalcoólicos em diferentes concentrações de 10-500 ppm foram dissolvidos em tampão fosfato salino (PBS). Foram adicionadas a essas concentrações 1 mL de ácido salicílico (9 mM), 1 mL de sulfato ferroso (9 mM) e 1 mL de peróxido de hidrogênio (9 mM). Utilizou-se ácido ascórbico como padrão positivo. A mistura reacional foi incubada durante 60 min a 37°C em banho-maria; após a incubação, a absorbância das misturas foi medida a 510 nm em espectrofotômetro UV/VIS. A eliminação de radicais hidroxila foi expressa em percentual e a Concentração Eficiente 50% (CE_{50}/IC_{50}) e 90% (CE_{90}/IC_{90}) capazes de inibir 50% e 90%, respectivamente, da eliminação foi expressa em ppm.

AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE POR ELIMINAÇÃO DE RADICAIS ABTS

A determinação da atividade antioxidante pelo método ABTS [2,2-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)], foi adaptada conforme a metodologia sugerida por RE et al. (1999). A partir das concentrações dos extratos e frações (5 a 150 ppm) preparou-se a mistura reacional com o cátion radical ABTS. Em ambiente escuro foi transferida uma alíquota de 30 μL de cada concentração das amostras contendo 3,0 mL do cátion radical ABTS e homogeneizou em agitador de tubos e após 6 minutos realizou-se a leitura da absorbância da mistura reacional em espectrofotômetro em comprimento de 734 nm. As análises foram realizadas em triplicata. A eliminação de radicais ABTS foi expressa em percentual e a



Concentração Eficiente 50% (CE₅₀/IC₅₀) e 90% (CE₉₀/IC₉₀) capazes de inibir 50% e 90%, respectivamente, da eliminação foi expressa em ppm.

AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE POR ELIMINAÇÃO DE RADICAIS DPPH

O método utilizado para determinar a capacidade antioxidante dos extratos e frações foi adaptado de Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995). 50 µL dos extratos e frações foram misturados com 950 µL de etanol, 2 mL de solução de radical DPPH, perfazendo 4 mL com etanol, com posterior homogeneização. A mistura foi deixada a reagir no escuro durante 30 minutos. A absorção de amostras (As) foi registrada em 517 nm em um espectrofotômetro UV-Vis. A eliminação de radicais DPPH foi expressa em percentual e a Concentração Eficiente 50% (CE₅₀/IC₅₀) e 90% (CE₉₀/IC₉₀) capazes de inibir 50% e 90%, respectivamente, da eliminação foi expressa em ppm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

TOXICIDADE FRENTE *ARTEMIA SALINA*

A Tabela 1 apresenta a Concentração Letal 50% referente à ação do extrato hidroalcolico frente *Artemia salina* L. e sua posterior classificação segundo o critério Dolabela (1997).

Tabela 1: Concentração Letal 50 (CL₅₀) para ação do extrato hidroalcolico frente *Artemia Salina* Leach.

Log C	CL ₅₀ Reed&Muench	Erro padrão (SE)
2,7512	563,96 ± 2,02 ppm	0,0211

Fonte: Autor próprio, 2022.

A partir dos resultados obtidos e demonstrados na Tabela 1, pode-se afirmar que o mesmo possui característica não tóxica, pois atende ao critério estabelecido por Dolabela (1997), uma vez que a CL₅₀ do estudo em questão esteve acima do limite estabelecido pelo mesmo, onde é afirmado que é levemente tóxico ou não tóxico índices superiores a CL₅₀ ≥ 250 ppm.

Diante do estudo descrito por Ferreira et al. (2018), atestou-se um quantitativo referente a Concentração de Letal (CL₅₀) com base no extrato hidroalcolico das folhas de *Copaifera langsdorffii* Desf de 410,21 µg mL⁻¹. Assim, considera-se este produto bioativo como não toxicológico, o que se subtende que este produto tem a capacidade de ter aplicabilidade para atividade toxicológica, confirmando a sua eficácia frente à *Artemia salina*.



Em contrapartida foram observados resultados divergentes pelo trabalho de Xavier (2018), na qual utilizou o extrato hidroalcoólico *Caesalpinia echinata*, ressaltando-se que a espécie pertence à mesma família do presente estudo, Fabaceae e classificando tal produto como moderadamente tóxico, o que pode ser atribuído pela presença de terpenos e saponinas presente na composição do respectivo extrato.

Resultados semelhantes foram destacados pelo estudo de Sobreira (2019), em que se avaliou o extrato hidroalcoólico *Piptadenia stipulacea*, sendo que a espécie mencionada pertence à família das Fabaceae, identificando a concentração de Letalidade CL_{50} de 478,94 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Diante da literatura estabelecida como parâmetro em termos de perfil toxicológica, conceitua-se o produto citado como não tóxico, estimulando este material como alternativa viável para com está finalidade.

Os resultados perpassados tornam-se satisfatórios, pois as espécies pertencentes a família das Fabaceae apresenta em sua constituição alguns metabólitos que conferem a capacidade toxicológica frente à *Artemia Salina*, entre eles, evidencia-se as classes dos alcaloides, taninos, flavonoides e seus derivados (OLIVEIRA et al., 2020).

ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A Tabela 2 apresenta a capacidade antioxidante do extrato hidroalcoólico através dos métodos de descoloração de radicais ABTS, DPPH e Hidroxila (R-OH).

Tabela 2: Capacidade antioxidante do extrato hidroalcoólico.

Método	CE_{50} ppm	R^2
ABTS	$86,95 \pm 4,05$	0,9994
DPPH	$58,11 \pm 6,05$	0,9993
R-OH	$113,92 \pm 7,41$	0,9841

Fonte: Autor próprio, 2022.

Através da Tabela 2, podemos observar que o melhor desempenho do extrato hidroalcoólico frente os radicais DPPH com uma Concentração Eficiente 50% (CE_{50}) de 58,11 ppm, seguido pela CE_{50} de 86,95 ppm frente os radicais ABTS e CE_{50} de 113,92 ppm frente os radicais hidroxila.

Os resultados indicam que o extrato hidroalcoólico avaliado como composto com caráter antioxidante, já que demonstrou significativa capacidade para capturar radicais livres, tal afirmação fundamenta-se por meio da literatura descrita por Campos et al. (2008), em que designa que produtos bioativos, que apresentam valores inferiores de 250 $\mu\text{g/mL}$ são classificados como excelentes antioxidantes.



Resultados coerentes com a literatura foram observados pelo trabalho Cesarino et al. (2020), na qual a atividade antioxidante foi quantificada através do método do radical estável DPPH, demonstrando a capacidade dos constituintes presentes do extrato hidroalcoólico da planta *Acacia polyphylla*, dando ênfase que espécie destacada pertence à família da Fabaceae. Desta forma, o estudo em questão apresentou a CE_{50} de $(48,18 \pm 2,18) \mu\text{g mL}^{-1}$, com este dado pode-se afirmar que este produto se configura como um produto com promissora atividade antioxidante.

Segundo o trabalho de Oliveira (2020), verifica-se resultados semelhantes com o presente estudo, na qual concentra a sua análise pautada no extrato hidroalcoólico da espécie *Bauhinia cheilantha*, sendo que a planta mencionada é pertencente à família da Fabaceae. Neste contexto, avaliou-se a atividade antioxidante apoiado em dois métodos, diante do método pelo sequestro do radical DPPH determinou-se o seguinte valor para CE_{50} de $25,84 \mu\text{g mL}^{-1}$, já para o ensaio ABST determinou-se a CE_{50} de $18,34 \mu\text{g mL}^{-1}$ respectivamente, com estes dados compreende-se uma efetiva atividade antioxidante para o produto destacado.

Outro estudo que contribui com os quantitativos determinados neste trabalho foi reportado por Ramos et al. (2020), em que foram avaliados perante o extrato hidroalcoólico da folha *Erythrina velutina* o atributo de capturar radicais livres, evidenciando que a referida planta está contida na família da Fabaceae, deste modo foi determinado o valor para CE_{50} de $(76,43 \pm 0,45) \mu\text{g mL}^{-1}$ respectivamente pelo método DPPH. Nesse compasso, este produto é capaz apresenta-se como uma solução viável com a proposta direcionada para atividade antioxidante, já que o mesmo colabora com benefícios e desenvolve maior longevidade em termos melhoria de vida quando consumido, justificada pela ação sequestradora de radicais livres (ALAM et al., 2013).

Pode-se atestar por meio estudo descrito por Costa et al. (2019), que os quantitativos observados que corroboraram para um melhor caráter antioxidante, se esclarece pelo fato de que extrato da planta *Copaifera langsdorffii* Desf, contém em sua composição substâncias significativamente polares, como é o caso dos compostos fenólicos, que também se denotam como substâncias antioxidantes, e dessa maneira o extrato em análise obteve boa ação ativa para com esta finalidade.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, afirma-se que o extrato hidroalcoólico de *Copaifera langsdorffii* Desf apresenta capacidade de sequestrar radicais livres, efetivando assim a sua potencialidade em termos de um produto com caráter antioxidante, estendendo também a sua aplicabilidade por seu perfil atóxico. Neste contexto, estima-se este produto como promissor para desempenhar as atividades destacadas.

REFERÊNCIAS

ALAM, M. N.; BRISTI, N. J.; RAFIQUZZAMAN, M. Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. **Saudi pharmaceutical journal**, v. 21, n. 2, p. 143-152, 2013.

AQUINO, V. V. F. et al. Metabólitos secundários e ação antioxidante de *Croton heliotripifolius* e *Croton blanchetianus*. **Acta Brasiliensis**, v. 1, n. 3, p. 28-31, 2017.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. L. W. T. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

CESARINO, E. C. et al. Composição química e atividade antioxidante de *Acacia polyphylla* (Fabaceae). **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 2, 2020.

COSTA, T. B. et al. **Estudo fitoquímico dos extratos das cascas dos frutos secos da *Copaifera langsdorffii* Desf.** 2019.

DA SILVA XAVIER, Y. K. et al. Atividade antioxidante do extrato etanólico de sementes e vagens de *Caesalpinia echinata*. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 5, p. 11893-11900, 2020.

DAUDT, R. M. **Aplicação dos componentes do pinhão no desenvolvimento de produtos inovadores nas indústrias cosmética e de alimentos.** 2016.

DE OLIVEIRA, D. P. et al. Perfil fitoquímico e potencial antioxidante de extratos etanólicos da espécie *Bauhinia monandra* Kurz (Fabaceae). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 86551-86564, 2020.

DE PAULA, A. G. P. et al. Avaliação da estabilidade das antocianinas do açaí no período de 28 dias em diferentes condições. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 2, n. 5, p. 4811-4823, 2019.

DIAS, D. A.; URBAN, S.; ROESSNER, U. *Metabolites* 2012, 2, 303– 336.

DOLABELA, M. F. **Triagem in vitro para atividade antitumoral e anti *Trypanosoma cruzi* de extratos vegetais, produtos naturais e substâncias sintéticas.** Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.1997.



FERREIRA, A. L. S. et al. **Etnofarmacobotânica e os saberes tradicionais na comunidade barreirinho, Santo Antônio do Leverger-MT, Brasil.** 2018.

FERREIRA, C. A. **Estudo fitoquímico e ensaios da atividade antioxidante dos extratos de *Acosmium dasycarpum* (Vogel) yakovlev (Fabaceae) e *Croton antisiphiliticus* Mart.(Euphorbiaceae).** 2020.

HARBORNE, A. J. **Phytochemical methods a guide to modern techniques of plant analysis.** springer science & business media, 1998.

LAHLOU, M. The Success of Natural Products in Drug Discovery. **Pharmacology & Pharmacy**, v.4, p. 17-31, 2013.

LUSHCHAK, V. I. Free radicals, reactive oxygen species, oxidative stress and its classification. **Chemico-biological interactions**, v. 224, p. 164-175, 2014.

MAHBOUBI, M. et al. Total phenolic content, antioxidant and antimicrobial activities of *Blepharis edulis* extracts. **Songklanakarin Journal of Science & Technology**, v. 35, n. 1, 2013.

MEYER, B. N. et al. Brine shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents. **Planta medica**, v. 45, n. 05, p. 31-34, 1982.

OLIVEIRA, P. L. **Avaliação do potencial biológico e citotóxico de extratos aquosos de folhas de *Bauhinia cheilantha* (Bongard) Steude (Leguminosae).** 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

PROVENSÍ, L. **Estudo fitoquímico e atividade antioxidante de *Justicia thunbergioides* (Lindau) Leonard.(acanthaceae).** 2018.

QUEMEL, G. K. C. et al. Propriedades medicinais do óleo da *Copaifera Langsdorffii*: uma revisão integrativa da literatura. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 4, n. 3, p. 10490-10508, 2021.

RAMOS, R. M. et al. Estudo comparativo da composição fitoquímica, citotoxicidade e potenciais antioxidante e fotoprotetor da casca e folha de *Erythrina velutina*. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 33140-33158, 2020.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free radical biology and medicine**, v. 26, n. 9-10, p. 1231-1237, 1999.

REED, L. J.; MUENCH, H. A simple method of estimating fifty per cent endpoints. **American journal of epidemiology**, v. 27, n. 3, p. 493-497, 1938.

SILVA, M. L. C. et al. Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity in plant products. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 3, p. 669-682, 2010.

SMIRNOFF, N.; CUMBES, Q. J. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes. **Phytochemistry**, v. 28, n. 4, p. 1057-1060, 1989.



SOBREIRA, R. C. B. **Piptadenia stipulacea (BENTH) Ducke: investigação fitoquímica e ensaios toxicológicos in vitro e in vivo.** 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SUNDARARAJAN, R.; KODURU, R. In vitro antioxidant activity on roots of *Limnophila heterophylla*. **Free Radicals and Antioxidants**, v. 6, n. 2, p. 178-185, 2016.

VERRUCK, S.; PRUDENCIO, E. S.; DA SILVEIRA, S. M. Compostos bioativos com capacidade antioxidante e antimicrobiana em frutas. In: **Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos.** 2018.

XAVIER, Y. K. S. **Avaliação dos possíveis efeitos toxicológicos de *Caesalpinia echinata* na atividade anti-inflamatória e antifúngica.** 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.



CAPÍTULO 3

ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO EXTRATO HIDROALCOOLICO DE FRUTOS DE SCHINUS TEREBINTHIFOLIA (AROEIRA-VERMELHA)¹

**Cassiano Vasques Frota Guterres
Francisco Nascimento Silva
Larissa Karla Barros de Alencar
Paulo Ricardo Silva Nunes
Maria Gizelda Gomes Lages
Michelle Nunes Lima
Ari Pereira de Araújo Neto
Gustavo Oliveira Everton**

RESUMO

Este estudo avaliou a atividade antioxidante do extrato hidroalcoólico de *Schinus terebinthifolia*. O material vegetal foi coletado no município de São Luís (MA). O extrato hidroalcoólico foi obtido por maceração a frio de 300g dos frutos de *Schinus terebinthifolius* triturados em solvente etanol extrator 70% (v/v) com filtragem após 7 dias, rotaevaporação e liofilização. A toxicidade foi avaliada frente *Artemia salina* Leach. Para atividade antioxidante utilizou os métodos de descoloração de radicais ABTS, DPPH e Hidroxila. O teste frente *Artemia salina* comprovou a atoxicidade do extrato hidroalcoólico analisado. O extrato apresentou atividade antioxidante ativa frente os métodos testados, sendo seu melhor desempenho frente os radicais DPPH com uma Concentração Eficiente 50% (CE₅₀) de 32,25 ppm, seguido pela CE₅₀ de 48,25 ppm frente os radicais ABTS e CE₅₀ de 63,22 ppm frente os radicais hidroxila. Os resultados indicam que o extrato hidroalcoólico avaliado é composto por substâncias que propiciam e incentivam sua aplicação, devido ao seu alto potencial para atividade antioxidante visando aplicações na área de alimentos e/ou saúde.

PALAVRAS-CHAVE: antioxidante; extrato; *Schinus*.

INTRODUÇÃO

As plantas medicinais fazem parte de temas de trabalhos relacionados a propriedades fitoterápicas, entre eles destaca-se os radicais livres e os antioxidantes, contemplando tanto os seus aspectos funcionais e suas respectivas aplicações. Diante disso, pode-se comprovar a sua relevância, profundidade mediante os estudos que refletiram nos tratamentos e curas de diversas enfermidades, todas estas contribuições estão sendo convertidas em divulgações que favorecem assim pelo maior interesse popular (FERNANDES; BIZERRA, 2018).

¹ Laboratório de Pesquisa e Aplicação de Óleos Essenciais (LOEPAV/UFMA).



Assim, evidencia-se que atividade antioxidante se destaca no campo da farmacologia, pois retardam o processo de desenvolvimento de cânceres, e também se ressaltam nas práticas em procedimentos estéticos, já que estas moléculas têm a capacidade de inibir os processos oxidativos celulares. Neste contexto, apontam-se vários estudos que expõem os benefícios dos hábitos nutricionais ricos em alimentos e fitoterápicos com propriedades antioxidantes em prol da saúde humana, fomentando o desenvolvimento na formulação de novos métodos para designar atividade antioxidantes em relação a novas espécies de plantas (SILVA et al., 2018; BORBA et al., 2019).

Em relação aos radicais livres, determina-se que são quimicamente instáveis, isso decorre pelo fato de apresentarem elétrons desemparelhados na sua camada de valência, uma vez que ao interagirem com outras estruturas podem captarem ou doar elétrons, com a finalidade de alcançarem a estabilidade diante de seus orbitais externos, transformando estes em radicais livres (CARRIÓN et al., 2018; VERRUCK et al., 2020).

A síntese destas moléculas nos organismos está predisposta de forma natural em todos os seres vivos. Dessa forma, estas moléculas podem ter origem nas mitocôndrias, no citoplasma ou mesmo nas membranas, estando relacionadas a estruturas celulares (proteínas, lipídeos, carboidratos, DNA) com funcionalidades ligadas aos sítios de formação (MARTIN, 2018).

Diante destes argumentos, os radicais livres são responsáveis por diversas funções em nossos organismos, entre elas podemos destacar a produção de energia, fagocitose, regulação do crescimento celular e também na formulação em substâncias ativas que desempenham papéis biológicos cruciais. Todavia o seu excesso pode acarretar em efeitos danosos, como a peroxidação dos lipídeos de membrana e atacarem as estruturas das enzimas, das membranas e do DNA. Neste sentido, ocasionam doenças circulatórias, artrites, disfunções cognitivas além de doenças terminais como já mencionado (PREVEDELLO & COMACHIO, 2021).

Outra função dos antioxidantes está atrelada a indústria de cosméticos e alimentos, tratando-se como atributo de proteção em prol destes produtos, atenuando o processo oxidativo que é causada pela exposição da luz, umidade e temperatura. Nesta perspectiva, existem diversos métodos para detecção dos radicais livres entre eles está o DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazila) que absorve a 510 nm. Este método é considerado um dos mais pragmáticos e usuais com este propósito, além de oferecer uma boa precisão e sensibilidade em termos de aplicação (SILVA et al., 2018).



É notório, que atividades antioxidantes presentes nos extratos hidroalcoólicos de espécies de plantas devem-se aos compostos bioativos das mesmas, entre elas destaca-se a espécie trabalhada neste estudo, sendo ela *S. terebinthifolius*, que contém em sua constituição química os compostos fenólicos que confere características como excelentes antioxidantes, anti-inflamatórios, antimutagênicos e anticancerígenas (SRINIVASAN, 2014).

As atribuições já citadas são justificáveis, pois, os fenólicos têm a propriedades de ação sobre o estresse oxidativo e seu respectivo mecanismo, indicando que está intimamente ligado com a eliminação de radicais livres e com a contribuição para atenuar doenças consideradas crônicas como é o caso da diabetes, doenças cardiovasculares e câncer (SHAHIDI, 2018). A *S. terebinthifolius* contém em sua composição um quantitativo bem diversificado em compostos fenólicos como flavonoides, metil galato, ácido elágico e catequina, favorecendo assim o seu potencial antioxidante (BERNARDES et al., 2014; FEUEREISEN et al., 2014; ROSAS et al., 2015, NOCCHI et al., 2016).

Visando o potencial do extrato hidroalcoólico citado, este estudo teve por objetivo avaliar a atividade antioxidante do extrato hidroalcoólico de *Schinus terebinthifolia* pelos métodos de descoloração de radicais ABTS, DPPH e hidroxila.

METODOLOGIA

COLETA DO MATERIAL VEGETAL E PREPARO DO EXTRATO HIDROALCÓOLICO

As amostras de folhas de *Schinus terebinthifolia*, foram coletadas no horário matutino no município de São Luís. Após a coleta, as amostras vegetais foram transportadas para o Laboratório de Pesquisa e Aplicação de Óleos Essenciais (LOEPAV/UFMA), onde foram pesadas, trituradas e armazenadas para preparo do extrato hidroalcoólico.

Para o preparo do extrato hidroalcoólico utilizou-se 300g do material vegetal, empregou-se o processo de maceração com solvente extrator etanol P.A 70% (v/v) seguindo a proporção 1:10. A solução obtida após 7 dias foi filtrada e concentrada em evaporador rotativo sob pressão reduzida, após o processo o extrato foi liofilizado para posteriores análises (HARBORNE, 1998).

TOXICIDADE

Para a avaliação da letalidade de *Artemia salina* Leach, seguiu-se a metodologia descrita por Meyer et al. (1982). Preparou-se uma solução salina estoque do extrato hidroalcoólico na concentração de 10.000 mg L⁻¹ e Tween 80 (tenso ativo). Alíquotas de 5, 50 e 500 µL foram



transferidas para tubos de ensaio e completadas com solução salina previamente preparada até 5 mL, obtendo concentrações de 10, 100 e 1000 mg L⁻¹, respectivamente. Todos os testes foram realizados em triplicata, onde dez larvas na fase de náuplio foram transferidas para cada um dos tubos de ensaio.

Para o branco utilizou-se 5 mL de solução salina, para o controle positivo K₂Cr₂O₇ e para controle negativo 5 mL de uma solução 4 mg L⁻¹ de Tween 80. Após 24 horas, fez-se a contagem de larvas vivas, onde as mortas eram consideradas como aquelas que não se movimentaram durante a observação e nem com a leve agitação do frasco. O critério estabelecido por Dolabela (1997) foi adotado para classificar a toxicidade dos extratos vegetais, sendo considerados altamente tóxicos quando CL₅₀ ≤ 80 mg L⁻¹, moderadamente tóxico quando 80 mg L⁻¹ ≤ CL₅₀ ≤ 250 mg L⁻¹ e levemente tóxico ou não tóxico quando CL₅₀ ≥ 250 mg L⁻¹. A análise estatística dos dados é realizada de acordo com o método Reed&Muench (1938) e o intervalo de confiança através do método de Pizzi (1950).

AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE POR ELIMINAÇÃO DE RADICAIS HIDROXILA (R-OH·)

A atividade antioxidante foi feita pelo método espectrofotométrico de eliminação de radicais hidroxila do ácido salicílico conforme os métodos descritos por Smirnoff&Cumbes (1989) e Sundararajan et al. (2016). Os extratos hidroalcoólicos em diferentes concentrações de 10-500 ppm foram dissolvidos em tampão fosfato salino (PBS). Foram adicionadas a essas concentrações 1 mL de ácido salicílico (9 mM), 1 mL de sulfato ferroso (9 mM) e 1 mL de peróxido de hidrogênio (9 mM). Utilizou-se ácido ascórbico como padrão positivo. A mistura reacional foi incubada durante 60 min a 37 °C em banho-maria; após a incubação, a absorbância das misturas foi medida a 510 nm em espectrofotômetro UV/VIS. A eliminação de radicais hidroxila foi expressa em percentual e a Concentração Eficiente 50% (CE₅₀/IC₅₀) e 90% (CE₉₀/IC₉₀) capazes de inibir 50% e 90%, respectivamente, da eliminação foi expressa em ppm.

AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE POR ELIMINAÇÃO DE RADICAIS ABTS

A determinação da atividade antioxidante pelo método ABTS [2,2-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)], foi adaptada conforme a metodologia sugerida por RE et al. (1999). A partir das concentrações dos extratos e frações (5 a 150 ppm) preparou-se a mistura reacional com o cátion radical ABTS. Em ambiente escuro foi transferida uma alíquota de 30 µL de cada concentração das amostras contendo 3,0 mL do cátion radical ABTS e



homogeneizou em agitador de tubos e após 6 minutos realizou-se a leitura da absorbância da mistura reacional em espectrofotômetro em comprimento de 734 nm. As análises foram realizadas em triplicata. A eliminação de radicais ABTS foi expressa em percentual e a Concentração Eficiente 50% (CE₅₀/IC₅₀) e 90% (CE₉₀/IC₉₀) capazes de inibir 50% e 90%, respectivamente, da eliminação foi expressa em ppm.

AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE POR ELIMINAÇÃO DE RADICAIS DPPH

O método utilizado para determinar a capacidade antioxidante dos extratos e frações foi adaptado de Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995). 50 µL dos extratos e frações foram misturados com 950 µL de etanol, 2 mL de solução de radical DPPH, perfazendo 4 mL com etanol, com posterior homogeneização. A mistura foi deixada a reagir no escuro durante 30 minutos. A absorção de amostras (As) foi registrada em 517 nm em um espectrofotômetro UV-Vis. A eliminação de radicais DPPH foi expressa em percentual e a Concentração Eficiente 50% (CE₅₀/IC₅₀) e 90% (CE₉₀/IC₉₀) capazes de inibir 50% e 90%, respectivamente, da eliminação foi expressa em ppm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

TOXICIDADE FRENTE *ARTEMIA SALINA*

A Tabela 1 apresenta a Concentração Letal 50% referente à ação do extrato hidroalcolico frente *Artemia salina* L. e sua posterior classificação segundo o critério Dolabela (1997).

Tabela 1: Concentração Letal 50 (CL₅₀) para ação do extrato hidroalcolico frente *Artemia Salina* Leach

Log C	CL ₅₀ Reed&Muench	Erro padrão (SE)
2,4317	270,22 ± 3,11 ppm	0,0541

Fonte: Autoria própria, 2022.

A partir dos resultados obtidos e demonstrados na Tabela 1, pode-se afirmar que o mesmo possui característica não tóxica, pois atende ao critério estabelecido por Dolabela (1997), uma vez que a CL₅₀ do estudo em questão esteve acima do limite estabelecido pelo mesmo, onde é afirmado que é levemente tóxico ou não tóxico com índices superiores a CL₅₀ ≥ 250 ppm.

Segundo o trabalho de Barbosa et al. (2021), verificou-se a taxa de concentração Letal (CL₅₀) para extrato hidroalcolico de 375 µg mL⁻¹, confirmando a atoxicidade observada neste



ensaio e apresentada pela CL_{50} na Tabela 1. Para o estudo citado, constata-se um aprofundamento maior em relação aos solventes utilizados para obtenção do extrato da espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi, nos quais os seguintes solventes aplicados são o hexano com a CL_{50} de $300 \mu\text{g mL}^{-1}$, acetato de etila CL_{50} de $576 \mu\text{g mL}^{-1}$, mostrando assim a eficiência do solvente utilizado no presente estudo, alcançando valores satisfatórios como um produto bioativo ausente de toxicidade, configurando-se como uma escolha viável para com esta finalidade.

Estes quantitativos apresentam-se como concordantes, pois há uma correlação com as classes de metabólitos secundários presente no extrato *S. terebinthifolius*, isto é, a atividade toxicológica observada frente à *Artemia salina*, segundo a literatura, o seu efeito sinérgico promovido pela atividade destacada relaciona-se ao tipo de compostos fenólicos, que fazem parte de uma diversificada variedades de vegetais, podendo estabelecer relações entre a atividade toxicológica com a atividade antioxidante (CARVALHO et al., 2009).

ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A Tabela 2 apresenta a capacidade antioxidante do extrato hidroalcolico através dos métodos de descoloração de radicais ABTS, DPPH e Hidroxila (R-OH).

Tabela 2: Capacidade antioxidante do extrato hidroalcolico.

Método	CE_{50} ppm	R^2
ABTS	$48,25 \pm 2,25$	0,9991
DPPH	$32,25 \pm 3,36$	0,9999
R-OH	$63,22 \pm 4,11$	0,9945

Fonte: Autoria própria, 2022.

Através da Tabela 2, podemos observar que o melhor desempenho do extrato hidroalcolico frente os radicais DPPH com uma Concentração Eficiente 50% (CE_{50}) de 32,25 ppm, seguido pela CE_{50} de 48,25 ppm frente os radicais ABTS e CE_{50} de 63,22 ppm frente os radicais hidroxila. Os resultados indicam que o extrato hidroalcolico é considerado como um produto ativo e eficiente para atividade antioxidante, está afirmação intitula-se como plausível por meio da literatura estabelecida por Mishra et al. (2013), na qual designa que produtos à base de materiais vegetais com CE_{50} com quantitativos relativamente baixos configuram-se como ativos.

Resultados convergentes foram observados pelo estudo de Brandão et al. (2018), na qual orientou seu estudo por meio do extrato hidroalcolico *S. terebinthifolius*, observando os seguintes quantitativos por meio dos métodos ABST com a CE_{50} de $9,96 \pm 1,04 \mu\text{g mL}^{-1}$ e DPPH seguido da CE_{50} de $14,58 \pm 2,16 \mu\text{g mL}^{-1}$, respectivamente. Desta forma, pode-se



confirmar resultados promissores em relação a este ensaio, sendo esclarecido pela concentração de fenóis.

Por outro lado o trabalho de Alves et al. (2018), apresentou-se com resultados discrepantes quando se compara com o presente estudo, em que determina o quantitativo para CE_{50} de $125,82 \mu\text{g mL}^{-1}$, todavia apesar do quantitativo relativamente alto em relação a CE_{50} quando confronta-se com os dados encontrados neste ensaio, pode-se prever que o extrato hidroalcolico da espécie *S. terebinthifolius* manifesta-se com excelente potencial antioxidante, já que Campos et al. (2008) estipula, que valores de CE_{50} inferiores de $250 \mu\text{g mL}^{-1}$ são considerados produtos bioativos com elevados potenciais antioxidantes.

Outro trabalho que também contribui com presente ensaio foi observado pelo Sereniki et al. (2016), em que se avaliou a atividade antioxidante de eliminação de radicais DPPH, que foram observados em variadas concentrações testadas do extrato hidroalcolico proveniente da casca do caule *S. terebinthifolius*. O extrato apresentou a capacidade de reduzir o radical livre DPPH com uma CE_{50} de $12,176 \pm 0,077 \mu\text{g mL}^{-1}$, classificando-se como um possível produto a ser empregado com o propósito para atividade antioxidante.

Diante dos resultados discutidos, o que contribui para estes quantitativos são exatamente os metabólitos secundários, a família da Anacardiaceae contém altas concentrações de flavonoides, terpenos, esteroides, xantonas, e predominantemente lipídeos fenólicos e derivados. Entre os flavonoides, o que se destaca são os bioflavonoides (CHAVES et al., 2010).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que o extrato hidroalcolico *S. terebinthifolius* apresentou atividade antioxidante satisfatória, estruturando-se por uma boa capacidade de capturar radicais livres, isto é, atividade antioxidante, além de uma excelente atividade toxicológica pautada em um valor para CE_{50} relativamente baixo frente à *Artemia salina*, sendo justificado em ambos os casos, através dos seus constituintes químicos presentes em sua composição, entre eles estão os flavonoides, terpenos e esteroides. Assim, pode-se prever que o produto à base de material vegetal é economicamente e ecologicamente correto, qualificando-o como um produto em potencial para com estas finalidades.

REFERÊNCIAS

ALVES, F. M. S. et al. Atividade Antioxidante De Extratos De Pimenta Rosa (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS**, p. 81, 2018.



BARBOSA, T. C. et al. Obtenção e caracterização dos extratos das folhas obtidos da espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi e incorporação em membranas poliméricas para potencial uso em feridas. **Semana de Pesquisa e Extensão da Universidade Tiradentes-SEMPESq-SEMEX**, n. 19, 2017.

BERNARDES, N. R. et al. Nitric oxide production, inhibitory, antioxidant and antimycobacterial activities of the fruits extract and flavonoid content of *Schinus terebinthifolius*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 24, n. 6, p. 644–650, nov. 2014.

BORBA, C.; PEROTTI, B. Efeito antioxidante do óleo essencial de *Rosa damascena*: uma revisão de literatura. **Tecnologia em Cosmetologia e Estética-Pedra Branca**, 2019.

BRANDÃO, S. C. et al. **Composição química e avaliação da atividade antioxidante dos frutos de *Schinus terebinthifolius* Raddi**. 2018.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. L. W. T. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

CALZADA, F. et al. Antilymphoma potential of the ethanol extract and rutin obtained of the leaves from *Schinus molle* linn. **Pharmacognosy Research**, v. 10, n. 2, 2018.

CAMPOS, L. M. et al. Free radical scavenging of grape pomace extracts from Cabernet sauvignon (*Vitis vinifera*). **Bioresource Technology**, v. 99, n. 17, p. 8413-8420, 2008.

CARVALHO, C. et al. Cipó-cravo (*Tynnanthus fasciculatus* Miers–Bignoniaceae): estudo fitoquímico e toxicológico envolvendo *Artemia salina*. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 6, n. 1, 2009.

CHAVES, M. H. et al. Fenóis totais, atividade antioxidante e constituintes químicos de extratos de *Anacardium occidentale* L., Anacardiaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, p. 106-112, 2010.

DOLABELA, M.F. **Triagem in vitro para atividade antitumoral e anti *Trypanosoma cruzi* de extratos vegetais, produtos naturais e substâncias sintéticas**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.1997.

FERNANDES, P. R. D.; BIZERRA, A. M. C.. Avaliação quantitativa de atividades antioxidantes das plantas nativas da Região do Alto Oeste Potiguar/RN. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. 76, 2020.

FEUEREISEN, M. M. et al. Characterization of Phenolic Compounds in Brazilian Pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) Exocarp. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 26, p. 6219–6226, 2 jul. 2014.

GARCÍA, C. J. C. et al. **Estudio de la interrelación entre potencial antioxidante de la dieta y biomarcadores de capacidad antioxidante, nutrientes antioxidantes e inflamación**. 2020.

HARBORNE, A. J. **Phytochemical methods a guide to modern techniques of plant analysis**. springer science & business media, 1998.



MARTIN, L. F. **Inflamação, estresse oxidativo e atividade antioxidante em membranas fetais de gestações complicadas por parto pré-termo espontâneo.** 2018.

MEYER, B. N. et al. Brine shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents. **Planta medica**, v. 45, n. 05, p. 31-34, 1982.

MISHRA, K.; OJHA, H.; CHAUDHURY, N. K. Estimativa de propriedades antiradical de antioxidantes utilizando ensaio DPPH: uma revisão crítica e resultados. **Química alimentar**, v. 130, p. 1036-1043, 2012.

NOCCHI, S. R. et al. In vitro cytotoxicity and Anti-herpes simplex virus Type 1 activity of hydroethanolic extract, fractions, and isolated compounds from stem bark of *Schinus terebinthifolius raddi*. **Pharmacognosy Magazine**, v. 12, n. 46, p. 160-4, 2016.

PIZZI, M. Sampling variation of the fifty per cent end-point, determined by the ReedMuench (Behrens) method. **Human biology**, v. 22, n. 3, p. 151-190, 1950.

PREVEDELLO, M. T.; COMACHIO, G. Antioxidantes e sua relação com os radicais livres, e Doenças Crônicas Não Transmissíveis: uma revisão de literatura Antioxidants and their relationship with free radicals, and Chronic Non communicable Diseases: a literature review. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 55244-55285, 2021.

PROCÓPIO, T. F. et al. *Schinus terebinthifolius* leaf extract causes midgut damage, interfering with survival and development of *Aedes aegypti* larvae. **PLoS One**, v. 10, n. 5, p. e0126612, 2015.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free radical biology and medicine**, v. 26, n. 9-10, p. 1231-1237, 1999.

REED, L. J.; MUENCH, H. A simple method of estimating fifty per cent endpoints. **American journal of epidemiology**, v. 27, n. 3, p. 493-497, 1938.

ROSAS, E. C. et al. Anti-inflammatory effect of *Schinus terebinthifolius* Raddi hydroalcoholic extract on neutrophil migration in zymosan-induced arthritis. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 175, p. 490-498, dez. 2015.

SERENIKI, A. et al. *Schinus terebinthifolius* administration prevented behavioral and biochemical alterations in a rotenone model of Parkinson's disease. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 26, p. 240-245, 2016.

SHAHIDI, F.; YEO, J.. Bioactivities of phenolics by focusing on suppression of chronic diseases: A review. **International journal of molecular sciences**, v. 19, n. 6, p. 1573, 2018.

SILVA, E. C. A. et al. Antioxidantes Polifenóis de Plantas Brasileiras Utilizados como Inibidores do Câncer. **International Journal of Nutrology**, v. 11, n. S 01, p. Trab107, 2018.

SILVA, L. A. et al. **Atividade antioxidante do óleo essencial de *Myrcia sylvatica* (G. Mey.) DC. por diferentes métodos de análises antioxidantes (ABTS, DPPH, FRAP, β -caroteno/ácido linoleico).** 2018.

SMIRNOFF, N.; CUMBES, Q. J. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes. **Phytochemistry**, v. 28, n. 4, p. 1057-1060, 1989.



SMIRNOFF, N.; CUMBES, Q. J. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes. **Phytochemistry**, v. 28, n. 4, p. 1057-1060, 1989.

SRINIVASAN, K. Antioxidant potential of spices and their active constituents. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 54, n. 3, p. 352-372, 2014.

SUNDARARAJAN, B. et al. Formulation of nanoemulsion from leaves essential oil of *Ocimum basilicum* L. and its antibacterial, antioxidant and larvicidal activities (*Culex quinquefasciatus*). **Microbial pathogenesis**, v. 125, p. 475-485, 2018.

SUNDARARAJAN, R.; KODURU, R. In vitro antioxidant activity on roots of *Limnophila heterophylla*. **Free Radicals and Antioxidants**, v. 6, n. 2, p. 178-185, 2016.

VERRUCK, S.; PRUDENCIO, E. S.; SILVEIRA, S. M. Compostos bioativos com capacidade antioxidante e antimicrobiana em frutas. In: **Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos**. 2018.



CAPÍTULO 4

CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS GEMOLÓGICOS DIVERSOS UTILIZANDO DISPOSITIVO DE MICROSCOPIA PORTÁTIL

Ítalo Silva Martins
Daniela Teixeira Carvalho de Newman
José Albino Newman Fernández
Ana Paula Maria de Assis

RESUMO

A análise das descontinuidades ópticas e físicas de materiais gemológicos auxiliam gemologistas e profissionais da área na identificação e caracterização gemológica há muitos anos, sendo parte fundamental do processo de reconhecimento e distinção entre os diversos materiais existentes no mercado. O acesso a bons equipamentos, principalmente no Brasil, ainda é muito restrito, devido principalmente a escassez da produção nacional unida a dificuldade de importação de novas tecnologias. Isto posto, a utilização de tecnologias emergentes, de fácil acesso, mais viáveis financeiramente, portáteis, que cumprem a prerrogativa de auxiliar o gemologista a visualizar e conseguir caracterizar inclusões, se torna cada vez mais necessária. As inovações têm por objetivo a melhoria constante para apurar os processos e produtos, indo ao encontro de novas tecnologias, com o propósito de otimizar os resultados, facilitar a utilização, reduzir custos e principalmente agregar valor ao negócio. Este trabalho visa apresentar uma dessas tecnologias emergentes, de pouca difusão e utilização no mercado nacional, que propicia ao gemologista a análise, identificação e caracterização das descontinuidades existentes nas gemas, por intermédio da captura e filmagem do interior dos mais diversos exemplares. A aplicação desta nova tecnologia propicia e possibilita o estudo das inclusões em variadas gemas contemplando ainda numerosos tipos de lapidação, uma vez que o equipamento não possui limitações proeminentes no que concerne à captura e visualização de inclusões em determinados formatos de lapidação como lupas comuns e lupas binoculares. Assim sendo, o estudo, a identificação e a caracterização das inclusões observadas podem ser realizados de maneira completa, ágil, esteja o profissional onde estiver. Sem dúvidas, um dos grandes atrativos do equipamento é sua portabilidade, bem como a grande ampliação proporcionada de até 400x, sem que a imagem seja distorcida e sem que haja o comprometimento da análise do material. Classificar inclusões é tarefa árdua, elas podem ser estruturas internas do tipo descontinuidades de propriedades óptica os fenômenos de zonamento de cor, zonamento de diafanidade, fenômenos de crescimento, estruturas fluidais de escoamento e turbilhonamento, planos de macla e birrefringência anômala e as estruturas internas do tipo descontinuidades de propriedades físicas englobam as cavidades de ruptura, cavidades de inclusões fluidas, além das inclusões sólidas, mas com auxílio de equipamentos de fácil manuseio como o objeto deste trabalho, é possível simplificar e otimizar o processo. Comparando os resultados do uso da microscopia portátil, com os obtidos nos equipamentos de microscopia tradicional, foi possível observar e caracterizar com facilidade as principais descontinuidades internas, tanto as geradas a partir das propriedades ópticas, como as físicas. Se analisaram materiais gemológicos brutos e em diferentes formas de lapidação e como principal limitação do uso do equipamento está o fato de ele possuir uma focalização limitada às porções superficiais do material, em função de sua distância focal, no entanto, a observação dos espécimes em diferentes orientações e direções, possibilitou uma caracterização completa. O dispositivo portátil, portanto, que profissionais com pouca experiência adentrem no



complexo universo da microscopia aplicada à gemologia, a partir de um equipamento de fácil manuseio, capaz de reproduzir fotomicrografias e vídeos de alta qualidade.

PALAVRAS-CHAVE: Caracterização Gemológica, Microscopia Portátil, Gemologia, Inclusões Em Gemas

INTRODUÇÃO

A importância da microscopia na gemologia, está diretamente relacionada à aplicação dos estudos e caracterização das descontinuidades internas das gemas. Por meio da microscopia é possível diferenciar a natureza dos diversos materiais gemológicos, definir se os mesmos são naturais, sintéticos, artificiais e/ou tratados. Nos casos de esmeralda, rubi, safira e espinélio, a partir da caracterização microscópica se torna possível sugerir, ainda, sua origem geográfica, que impacta fortemente na precificação desses materiais, conforme descrito por diversos autores, tais como: SCHWARZ, (1987), CASTAÑEDA (1995), GUBELIN & KOIVULA (2008), NEWMAN CARVALHO (2021), NEWMAN (2021) e GEMGUIDE (2022). A caracterização microscópica das descontinuidades internas dos materiais gemológicos, fornece ainda importantes informações quanto à gênese dos depósitos, quando associada a estudos microtermométricos, conforme descrito por SCHWARZ, (1987), GANDINI (1999), DE CARVALHO (2004), NEWMAN CARVALHO (2009), SCHWARZ & CURTI (2020).

Desse modo, temos na microscopia aplicada à gemologia, uma das mais importantes ferramentas de identificação da natureza dos materiais gemológicos, ou como melhor designados comercialmente, as gemas. É na análise de suas descontinuidades de caráter físicas ou ópticas, além das genéticas e descritivas, que se embasa o trabalho científico pré certificação e avaliação. SCHWARZ (1987), SCHWARZ & CURTI (2020), NEWMAN CARVALHO (2021) e NEWMAN (2021) apontam que a partir dos dispositivos de microscopia encontra-se a capacidade de um gemologista em diferenciar as gemas naturais das sintéticas, assim como vidro e gemas compostas, tais como “*Doublets*” e “*Triplets*”, sendo ainda, indispensável em casos de gemas como esmeraldas, rubis e safiras, no que tange a sua origem geográfica. Permitindo observá-las internamente e em função do tipo e orientação das inclusões, seu zonamento de cor, feições de crescimento entre muitas outras características intrínsecas e especificidades únicas, proporcionam ao profissional especializado e devidamente familiarizado a separar os mais diferentes tipos de materiais por tipo, se natural ou sintetizado e/ou tratado, além do diagnóstico de produto ou processo utilizado para devido tratamento, ao que essa possa ter sido submetida.



Define-se por inclusão, de um modo simplificado, quaisquer materiais aprisionados no interior de uma gema, tais quais: partículas de matéria estranha, defeitos estruturais gerados ou não por dissolução química ou irregularidades na estrutura cristalina. As inclusões podem se formar antes, durante e após a formação do cristal hospedeiro.

SCHWARZ, (1987), SCHWARZ & CURTI (2020) e CASTAÑEDA (1995), classificam como discontinuidades internas, as estruturas presentes no interior de uma gema ou material gemológico. Tais estruturas são divididas entre discontinuidades de propriedades físicas e discontinuidades de propriedades ópticas, em função de como são formadas ou capturadas.

Classificamos como estruturas internas do tipo discontinuidades de propriedades ópticas os fenômenos de zonamento de cor, zonamento de diafanidade, fenômenos de crescimento (planos de crescimento, linhas de crescimento, etc.), estruturas fluidais de escoamento e turbilhonamento, planos de macla e birrefringência anômala. Já as estruturas internas do tipo discontinuidades de propriedades físicas englobam as cavidades de ruptura (fraturas e fendas de clivagem), cavidades de inclusões fluidas (cristais negativos, tubos de crescimento e cavidades irregulares), além das inclusões sólidas (monocristais e agregados cristalinos).

A correta descrição das discontinuidades internas norteia e embasa importantes interpretações no que se refere ao processo de identificação, caracterização, aspectos genéticos.

A proposta desse trabalho, não se baseia na substituição de tecnologias ou de equipamentos tradicionalmente utilizados na área da identificação e caracterização gemológica. O principal objetivo desse trabalho está em apresentar um novo meio de se ampliar e agilizar o processo de caracterização de gemas, a partir da utilização de uma nova ferramenta, de baixo custo, funcional e portátil, que pode auxiliar o gemologista, nas análises dos materiais, tornando segura futuras aquisições de materiais gemológicos e minimizando as possibilidades de equívocos ou caracterizações errôneas. É sabido que o trabalho do gemologista tem como base a análise de amostras, sem a certeza de sua origem, muitas vezes adquiridas de comerciantes autônomos, em feiras e garimpos. A análise preliminar, segura e objetiva, realizada com auxílio de equipamento de fácil manuseio, portátil, *in locuo*, no momento da aquisição de materiais gemológicos, possibilita diversas possibilidades de análises preliminares, enriquecendo o processo de caracterização e identificação das gemas, assegurando qualidade e assertividade dos serviços prestados.



De acordo com DOS REIS *et al* (2018), o avanço tecnológico mudou a maneira de armazenar a informação, de acessar os dados, facilitou a comunicação em todos os meios do conhecimento. Surgiram outras opções, como aplicativos, editoração eletrônica, banco de dados, mensagens, entre muitos outros meios. Desta forma os benefícios podem ser determinados na redução de custos, otimização de processos, aumento da produtividade, flexibilidade na prestação de serviços, qualidade e inovação.

Por consequência haverá o favorecimento ao rápido acesso a informações vitais aos processos envolvidos na identificação e caracterização das gemas e materiais gemológicos, viabilizando célere comunicação entre equipamento e captura de imagens que auxiliarão nas tomadas de decisão, ajudando no controle de atividades importantes e potencializando a agilidade na emissão de certificados e demais documentos, quando necessário.

METODOLOGIA APLICADA

A metodologia baseia-se na caracterização de materiais gemológicos diversos adquiridos no comércio, apresentando diferentes naturezas e tipos de lapidação, a partir de um dispositivo de microscopia portátil, da marca NURUGO, acoplado a um smartphone (Figuras 1a e b).

Figura 1: Sistema de microscopia portátil (a): dispositivo nurugo com aumento de até 400x; (b) sistema acoplado ao celular.



a



b

Fonte: Aatoria própria, 2022.

Este equipamento é produzido na cidade de Seoul, República da Coreia do Sul, e distribuído pela *Imcopex GmbH* dos EUA. Destaca-se a possibilidade de ampliação de até 400X, e que inclui suportes em software para IOS e Android. Apresenta medidas de 20,5mm x 34 mm x 4,9mm, sendo encaixado, frente a câmera e flash do smartfone a ser utilizado (tanto câmeras



traseiras como frontais). A promessa do fabricante é fornecer um dispositivo de microscopia com alta portabilidade, com propriedades em ampliar, fotografar, filmar e medir estruturas microscópicas diversas, além de outras funcionalidades aplicáveis na gemologia. Se obtém um feixe de luz branca refletida a partir do uso síncrono com o flash do smartphone, e luz transmitida, ao se adaptar abaixo da amostra uma fonte de iluminação. É possível, ainda, ao adaptar lentes polarizadoras, trabalhar com luz polarizada. Ao propiciar a observação sob diversas fontes e formas de iluminação, o equipamento cumpre os requisitos mínimos para a realização da caracterização de materiais gemológicos.

A partir da formação do banco de dados, realizar análises comparativas das mesmas estruturas descritas, utilizando-se os dispositivos tradicionais de microscopia, quer sejam: microscópio gemológico de campo escuro, microscópio horizontal de imersão e microscópio petrográfico (Figuras 2 a, b e c). Esses equipamentos estão presentes em vários laboratórios gemológicos a nível nacional e internacional, o que possibilita ampliar a comparação a outros bancos de dados de imagens, que não os gerados pelos autores.

Figura 2: Microscopia tradicionalmente aplicada na caracterização de discontinuidades internas em gemas. (a): microscópio gemológico de campo escuro; (b) microscópio gemológico horizontal de imersão; (c) microscópio óptico petrográfico.



a



b



c

Fonte: A autoria própria, 2022.

Foram selecionados como base comparativa de resultados, os bancos de dados gratuitos mais utilizados no setor, sendo esses: *Geminterest*; *OGemologo by Thiago Oliveira*; *Gem Inclusion Database by Asian Institute of Gemological Sciences* e *InclusioPedia by diversos autores*.

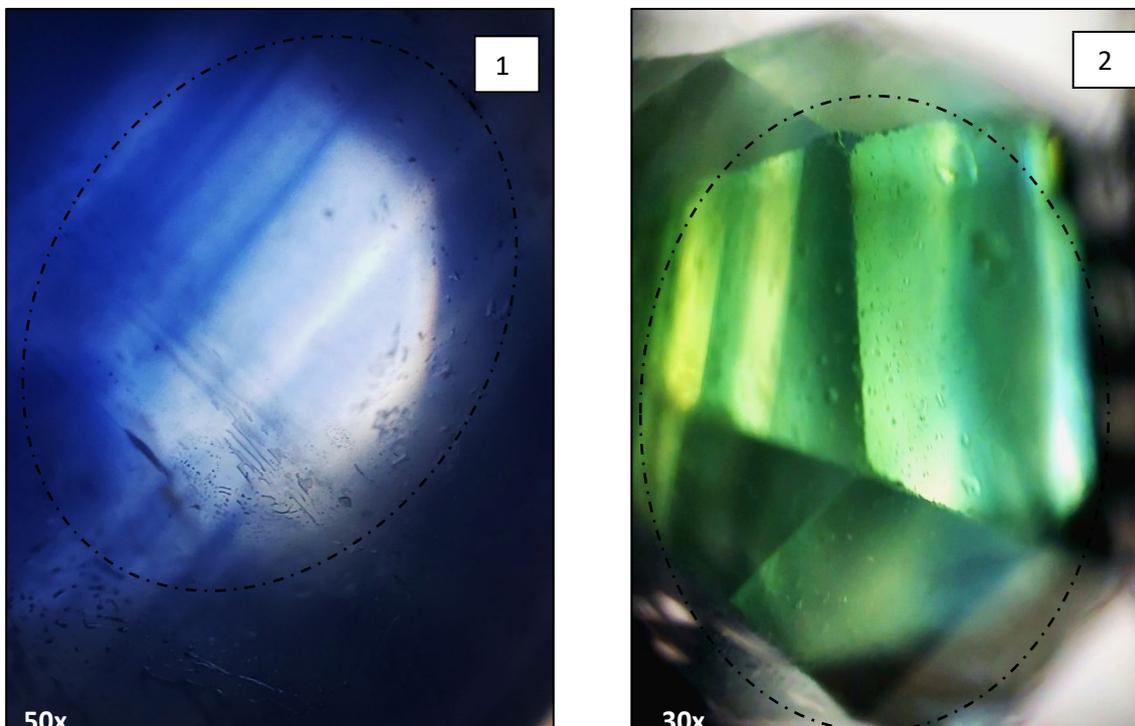


ESTRUTURAS INTERNAS OBSERVADAS

Para a caracterização, algumas gemas coradas com características diversas e diamantes brutos. Com a intenção de verificar a capacidade de abrangência do dispositivo realizou-se a caracterização de amostras brutas (esmeralda, escapolita e diásporo), amostras lapidadas em cabochão (apatita olho-de-gato, quartzos com inclusões diversas, pedra-do-sol -*sunstone*, diásporo olho-de-gato, topázio imperial, turmalina olho-de-gato), amostras em lapidações facetadas variadas (água-marinha, quartzo *pink fire*, cianita, escapolita, safiras diversas, rubi, esmeralda, turmalina).

Das propriedades de descontinuidades ópticas, foi possível observar com facilidade o zonamento de cor (prancha 1, fotomicrografias 1, e 2), zonamento de diafanidade (prancha 1, fotomicrografias 3 e 4), linhas de crescimento (prancha 1, fotomicrografia 5 e 6), planos de crescimento (Prancha 1, fotomicrografia 7) e planos de macla (prancha 1, fotomicrografia 8). A presença de birrefringência anômala foi observada sutilmente, apenas em um rubi tratado por preenchimento de vidro (prancha 1, fotomicrografia 9).

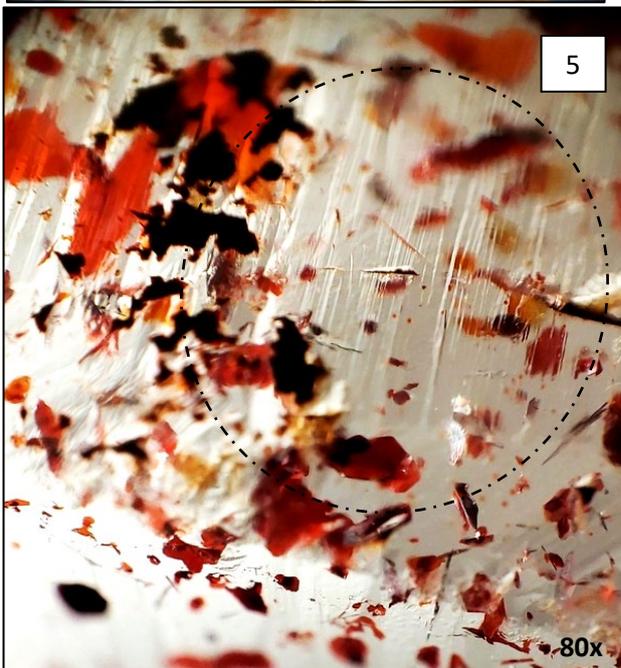
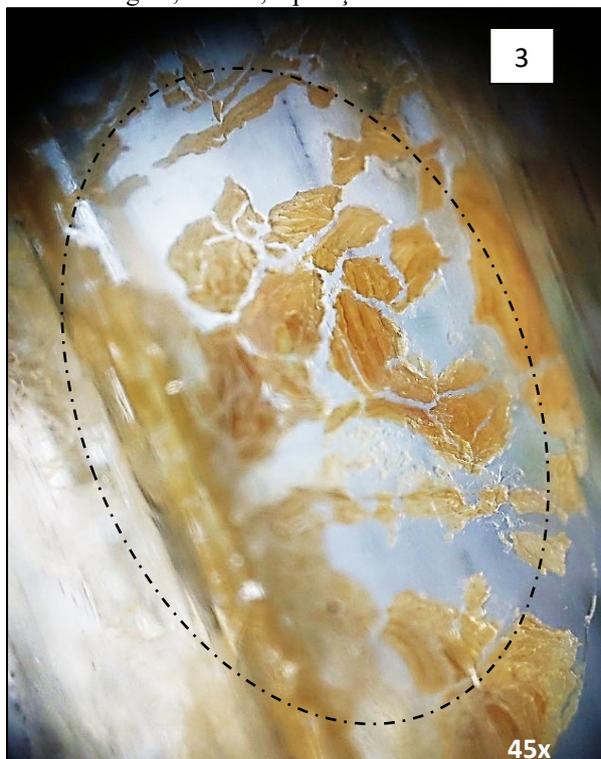
Prancha 1: Descontinuidades de propriedades ópticas observadas nas amostras analisadas. (1): zonamento de cor em tons de azul, safira natural lapidada em cabochão; (2): zonamento de cor em tons de amarelo esverdeado e verde azulado em safira verde natural, com lapidação facetada. Fotomicrografias capturadas em luz transmitida, sem filtro.



Fonte: Autoria própria, 2022.



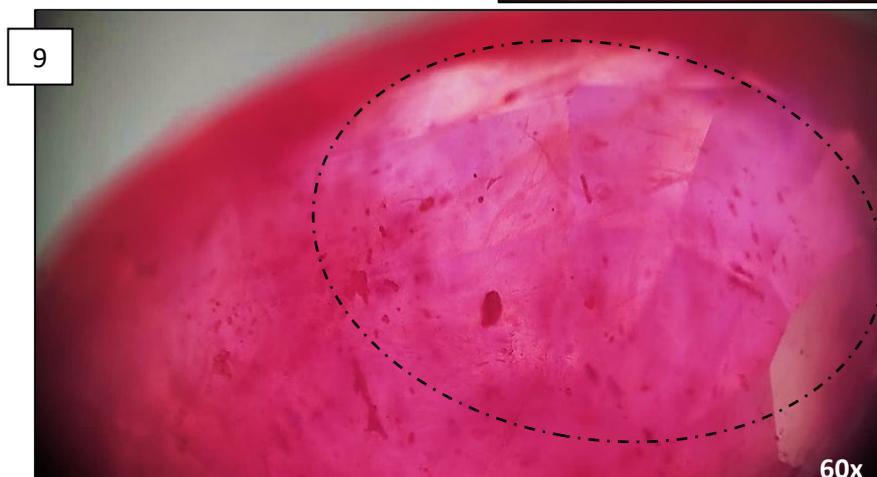
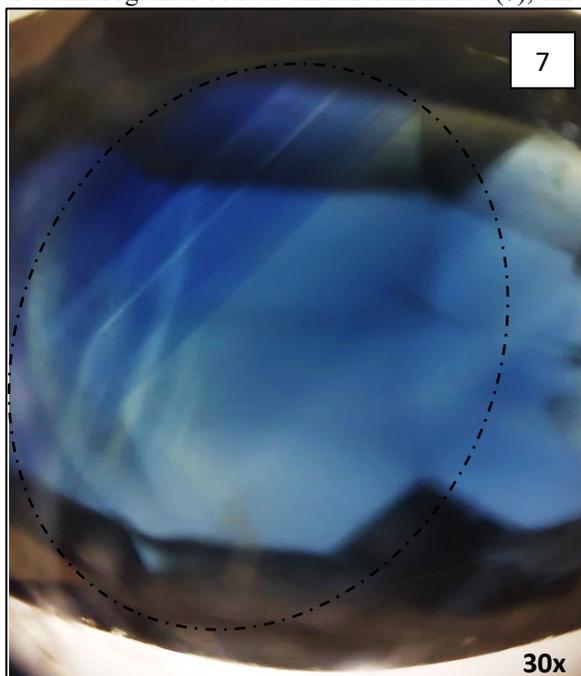
Prancha 1 (continuação): Descontinuidades de propriedades ópticas observadas nas amostras analisadas. (3) zonamento de diafanidade, por densificação de inclusões, em diásporo natural bruto; (4): zonamento de diafanidade, por densificação de inclusões, em pedra-do-sol natural, lapidada em cabochão (5): linhas de crescimento em quartzo com inclusões, natural, lapidação cabochão; (6): linhas de crescimento, em apatita olho-de-gato, natural, lapidação cabochão. Fotomicrografias obtidas em luz transmitida, sem filtro.



Fonte: Autoria própria, 2022.



Prancha 1 (continuação): Descontinuidades de propriedades ópticas observadas nas amostras analisadas. (7) planos de crescimento em safira azul natural, tratada termicamente, lapidação facetada; (8): planos de macla polissintética em rubi natural, tratado com preenchimento de vidro, lapidação facetada; (9) birrefringência anômala (efeito flash) com tons de azul, em rubi tratado com preenchimento de vidro, lapidação facetada. Fotomicrografias obtidas em luz transmitida (7), em luz refletida (8) e com polarizadores semi-cruzados (9).

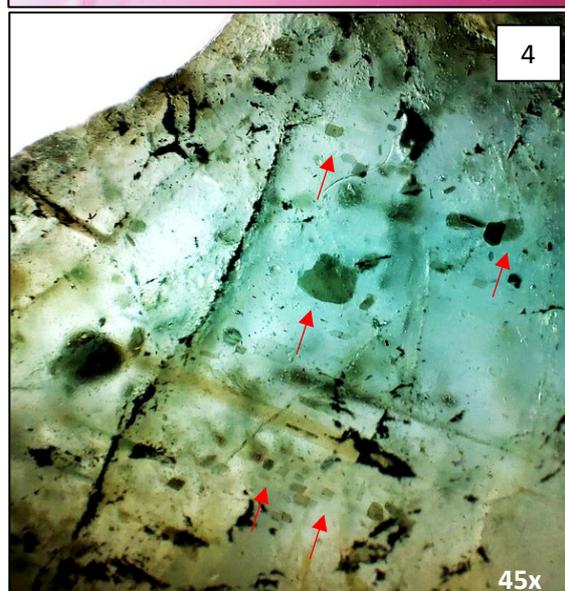
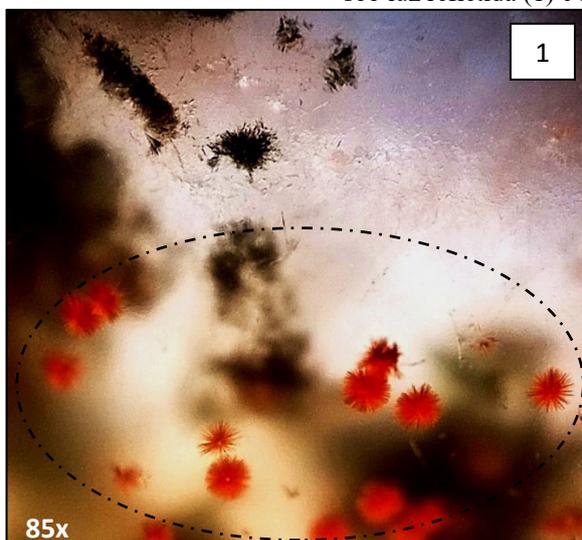


Fonte: Autoria própria, 2022.

No caso das descontinuidades de propriedades físicas, a melhor visibilidade foi nas estruturas mais próximas da superfície, em função da distância focal do equipamento e da espessura das amostras. Assim, houve a necessidade da observação dos espécimes em diferentes direções e orientações, para melhor caracterização. Dentre as descontinuidades físicas, foram observadas inclusões sólidas tanto monocristalinas, quanto as massas e agregados cristalinos, com diferentes origens temporais (protogenéticas, singenética e epigenéticas). A classificação genética (temporal) das mesmas foi realizada com facilidade (Prancha 2, fotomicrografias 1 a 4).



Prancha 2: Descontinuidades de propriedades físicas do tipo inclusões sólidas observadas nas amostras analisadas. (1): agregados protogenéticos radiais de sagenita, em ágata natural, lapidação cabochão; (2): inclusões monocristalinas protogenéticas de calcita e apatita (seta preta) e singenéticas (seta vermelha) de apatita, em granada natural facetada; (3) agregados cristalinos epigenéticos dentríticos de hidróxidos de manganês (seta preta) e em massas de hidróxido de ferro (seta vermelha), em escapolita natural facetada; (4): monocristais de flogopita singenética em esmeralda natural bruta (seta vermelha). Fotomicrografias capturadas sob luz refletida (1) e luz transmitida (2, 3 e 4).

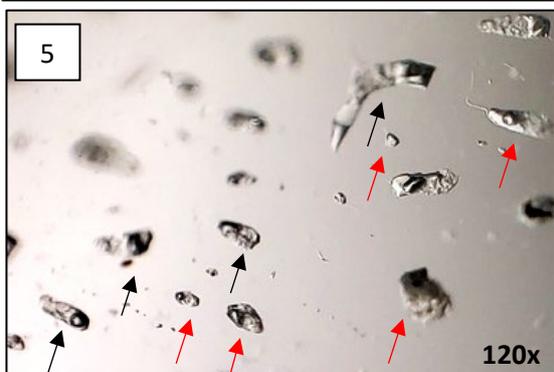
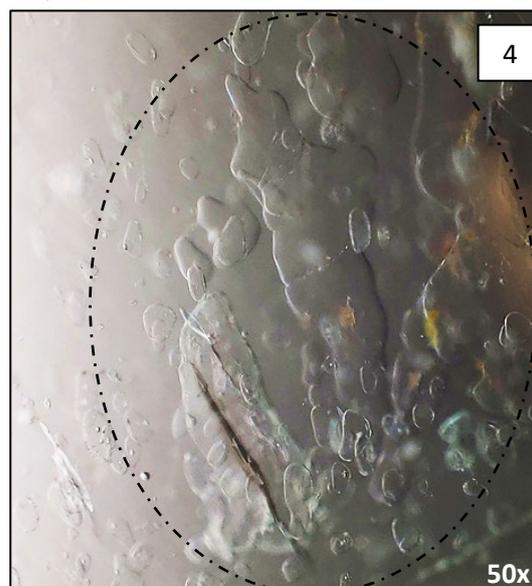
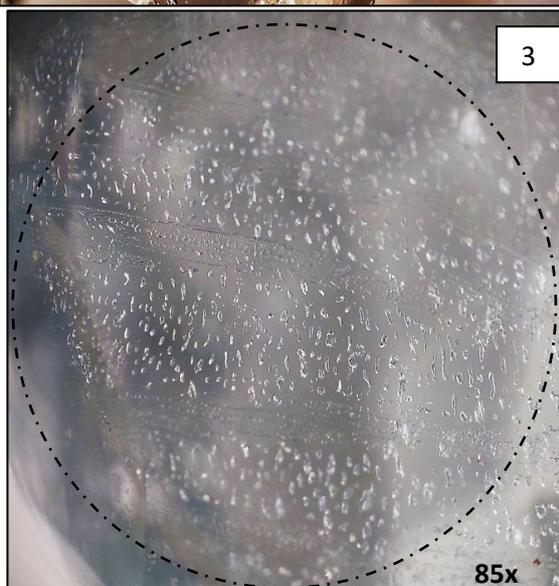
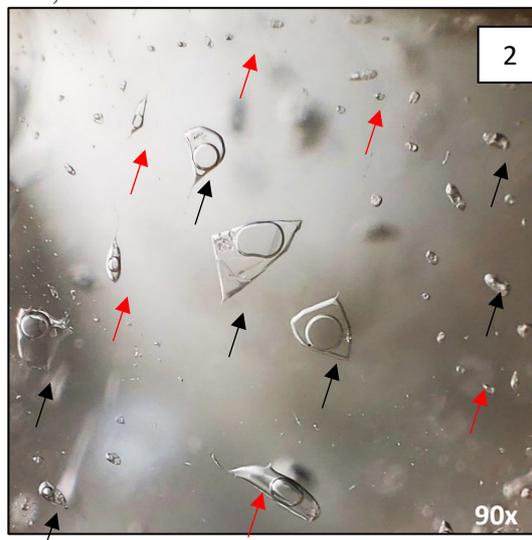


Fonte: Autoria própria, 2022.

Quanto às cavidades, foi possível observar a presença de inclusões fluidas de diferentes formas, origens, distribuição e preenchimentos, muitas vezes com nitidez superior ao que possibilitam a microscopia de campo escuro e a microscopia horizontal de imersão, comparando-se às observações realizadas em microscopia óptica petrográfica. Ao utilizar-se aumentos superiores a 300x, ficou difícil focalizar as cavidades de forma completa, o que dificultou a captura das imagens, sendo necessário aplicar a técnica do empilhamento de várias imagens em sequência (prancha 3, fotomicrografias 1 a 6).



Prancha 3: Descontinuidades de propriedades físicas do tipo cavidades de inclusão fluida observadas nas amostras analisadas. (1): cavidades de inclusão fluida irregulares, bifásicas (l-g) em topázio imperial natural, facetado; (2): cavidades de inclusões fluidas regulares, trifásicas [l-g-s] (seta preta) e bifásicas [l-g] (seta vermelha) em água-marinha natural facetada; (3) cavidades de inclusão fluida bifásicas, cicatrizando fratura transgranular em água-marinha natural facetada; (4): cavidades monofásicas líquidas do tipo filmes finos, em esmeralda natural bruta; (5): cavidades de inclusão fluida regulares, do tipo melt, trifásicas [l-g-s] (seta preta) e bifásicas [s-g] (seta vermelha), em heliodoro natural facetado; (6): detalhe de cavidade de inclusão fluida irregular polifásica (l1-l2-g-s1-s2-s3-s4), evidenciando estruturas de escape de fluido. Fotomicrografias capturadas em luz refletida, sem filtro.

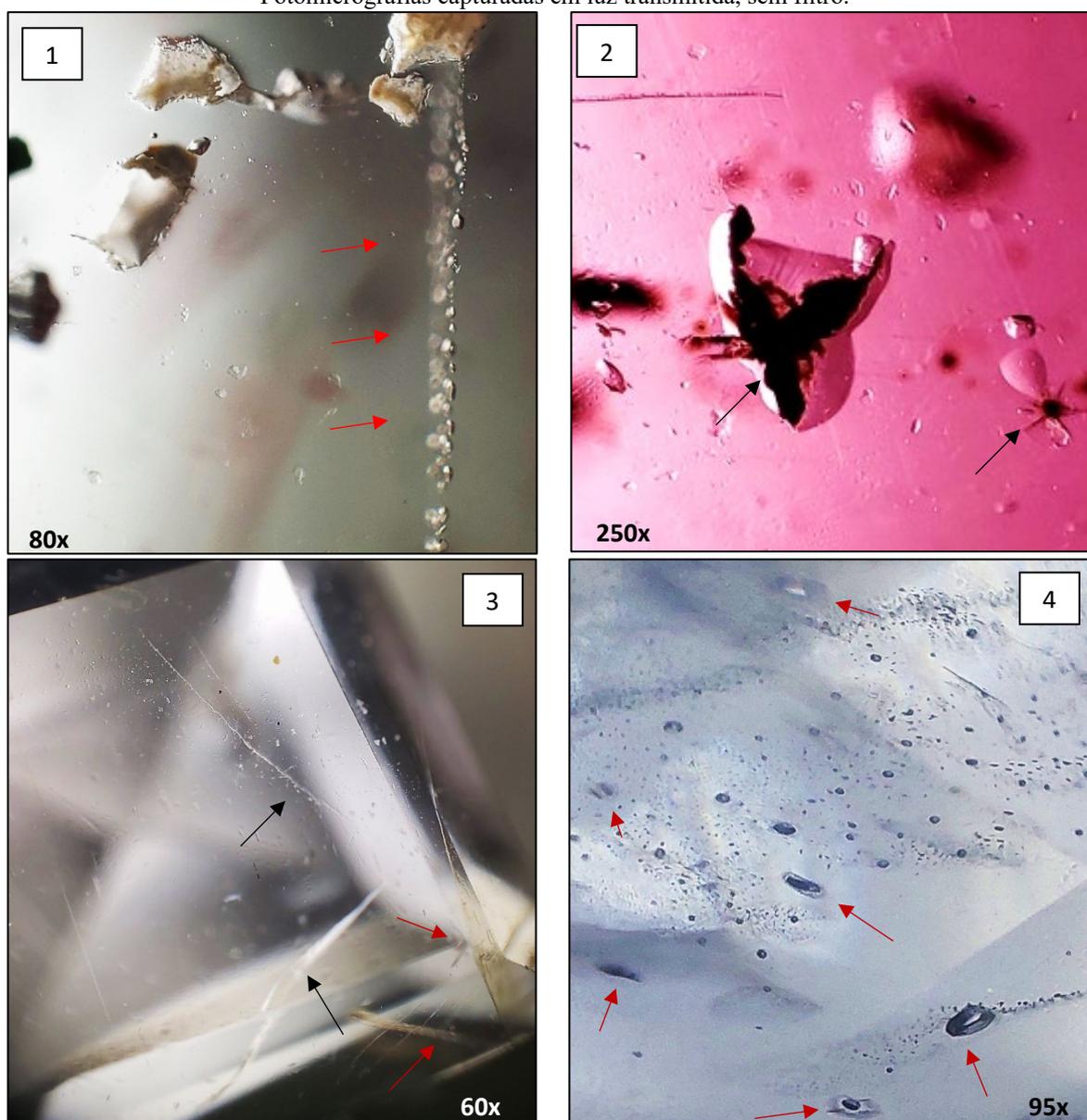


Fonte: Autoria própria, 2022.



A presença de fraturas, fissuras e fendas de clivagem, foi observada com facilidade, quando as mesmas estavam presentes próximas à superfície das gemas analisadas, ou com aumentos menores, de até 80x, de forma análoga ao que acontece quando se aplica a microscopia de campo escuro e a microscopia horizontal de imersão. Nos maiores aumentos apenas foi possível observar essas estruturas próximas à superfície, bem como os detalhes das cicatrizações ou preenchimentos, quando presentes (prancha 4, fotomicrografias 1 a 6).

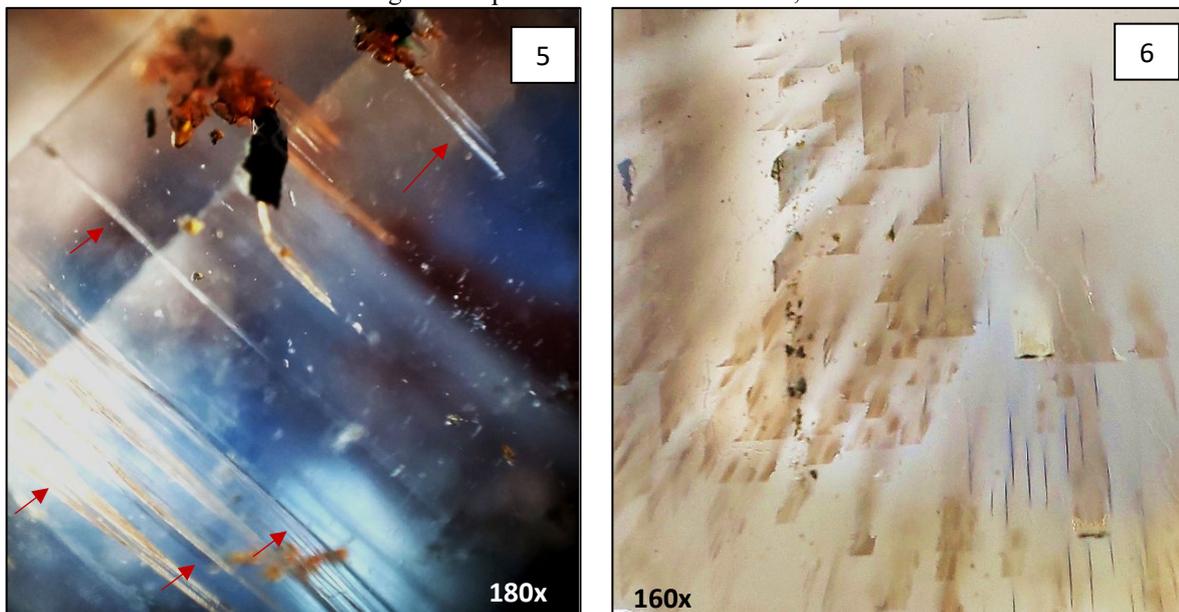
Prancha 4: Descontinuidades de propriedades físicas do tipo fraturas, fissuras e fendas de clivagem observadas nas amostras analisadas. (1): fratura intragranular singenética, parcialmente cicatrizada, por cavidades de inclusão fluida, em apatita olho-de-gato natural, em cabochão; (2): pequenas fissuras de alívio de pressão radiais, gerando fraturas discóides do tipo halo de tensão, em granada natural facetada; (3) fratura intragranular singenética seca (seta preta) e fratura transgranular epigenética parcialmente cicatrizada (seta vermelha), em cordierita facetada; (4): fraturas discóides tensionais em safira azul facetada, tratada termicamente; Fotomicrografias capturadas em luz transmitida, sem filtro.



Fonte: Autoria própria, 2022.



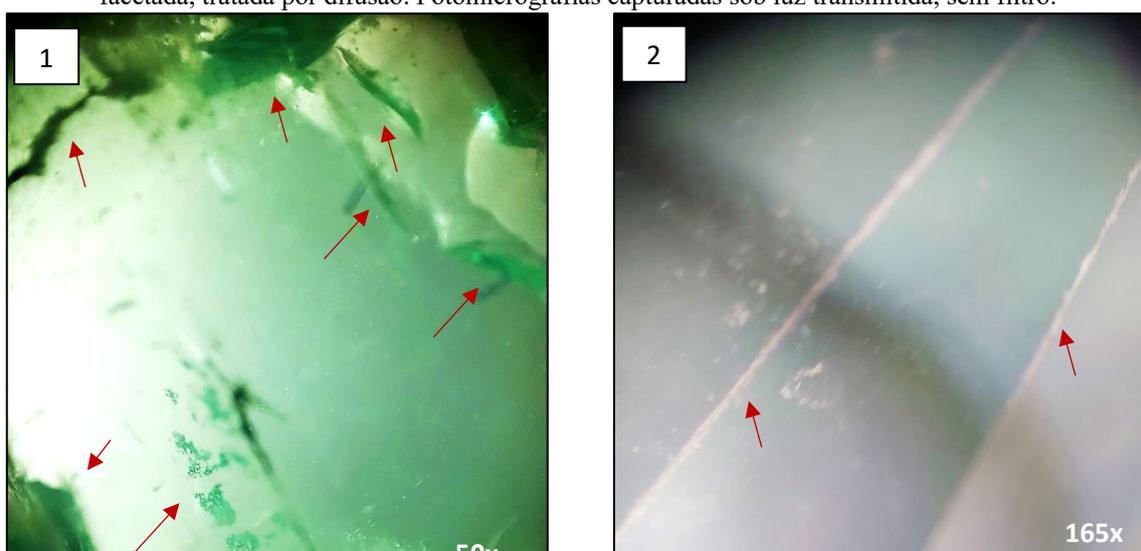
Prancha 4 (continuação): Descontinuidades de propriedades físicas do tipo fraturas, fissuras e fendas de clivagem observadas nas amostras analisadas. (5): fendas de clivagem unidirecionais em cianita natural facetada; (6) fendas de clivagem, bidirecionais, parcialmente cicatrizadas por hidróxidos, em escapolita natural bruta. Fotomicrografias capturadas sob luz transmitida, sem filtro.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A partir da caracterização utilizando o dispositivo portátil, foi possível identificar com facilidade a presença de indícios de tratamentos diversos aplicados aos materiais gemológicos analisados, quer sejam: tratamento térmico, tratamento por difusão, tratamento de preenchimento de vidro (principalmente em variedades de coríndon), impregnação e preenchimento de fraturas com resinas e similares (prancha 5, fotomicrografias 1 a 6).

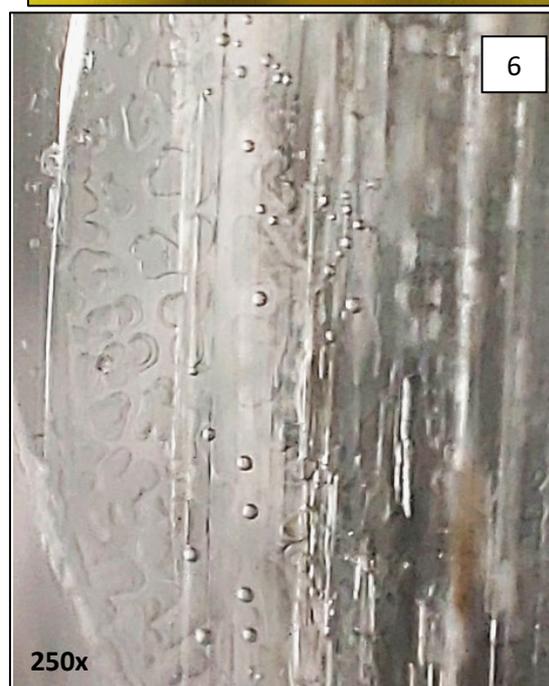
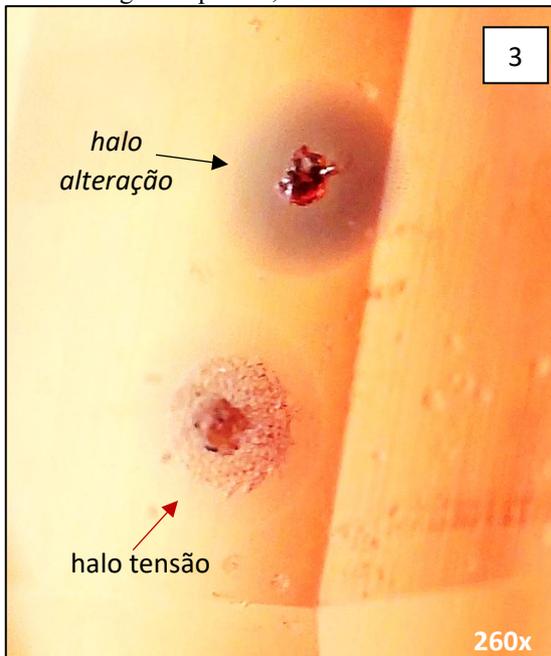
Prancha 5: Descontinuidades evidenciando a presença de tratamento nas amostras analisadas. (1) hiperpigmentação de fraturas em esmeralda facetada tratada com opticom; (2): arestas incolores em safira azul facetada, tratada por difusão. Fotomicrografias capturadas sob luz transmitida, sem filtro.



Fonte: Autoria própria, 2022.



Prancha 5(continuação): Descontinuidades evidenciando a presença de tratamento nas amostras analisadas. (3): rutilo apresentando halo de alteração azulado (seta preta) e halo de tensão (seta vermelha), evidenciando o tratamento térmico em rubi facetado; (4): fratura discóide com recristalização, evidenciando tratamento térmico em safira amarela facetada; (5): relictos de material vítreo, preenchendo fratura em safira amarela tratada por preenchimento de vidro de berílio; (6) bolhas arredondadas e restos de pegamento em *doublet* de diásporo olho-de-gato e quartzo, em cabochão. Fotomicrografias capturados sob luz transmitida, sem filtro.

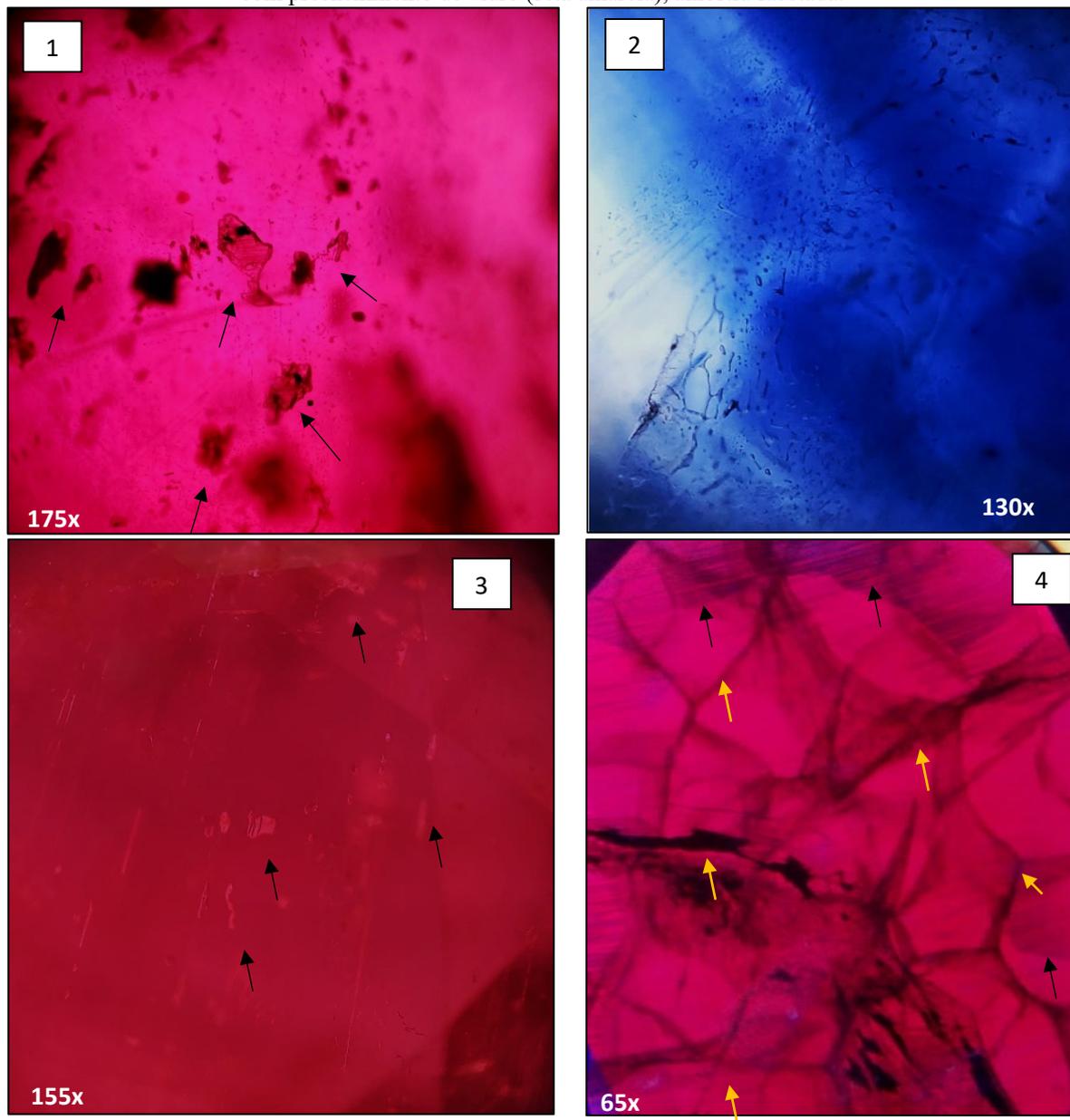


Fonte: Autoria própria, 2022.

Ao analisar algumas gemas sintéticas (rubi e safira), foi possível identificar com facilidade, as estruturas internas diagnósticas dos métodos de síntese, conforme evidenciado na prancha 6, fotomicrografias 1 a 4.



Prancha 6: Descontinuidades evidenciando a natureza sintética de algumas amostras de coríndon analisadas. (1) relictos de fluxo em rubi sintetizado pelo método Ramaura, amostra facetada; (2) relictos de fluxo em safira azul sintetizada pelo método Gilson, amostra em cabochão; (3): relictos de fundente metálico em rubi sintetizado por método de fluxo; (4): linhas de crescimento curvas (seta preta) em rubi sintetizado pelo método Verneuil, tratado com preenchimento de vidro (seta amarela), amostra facetada.

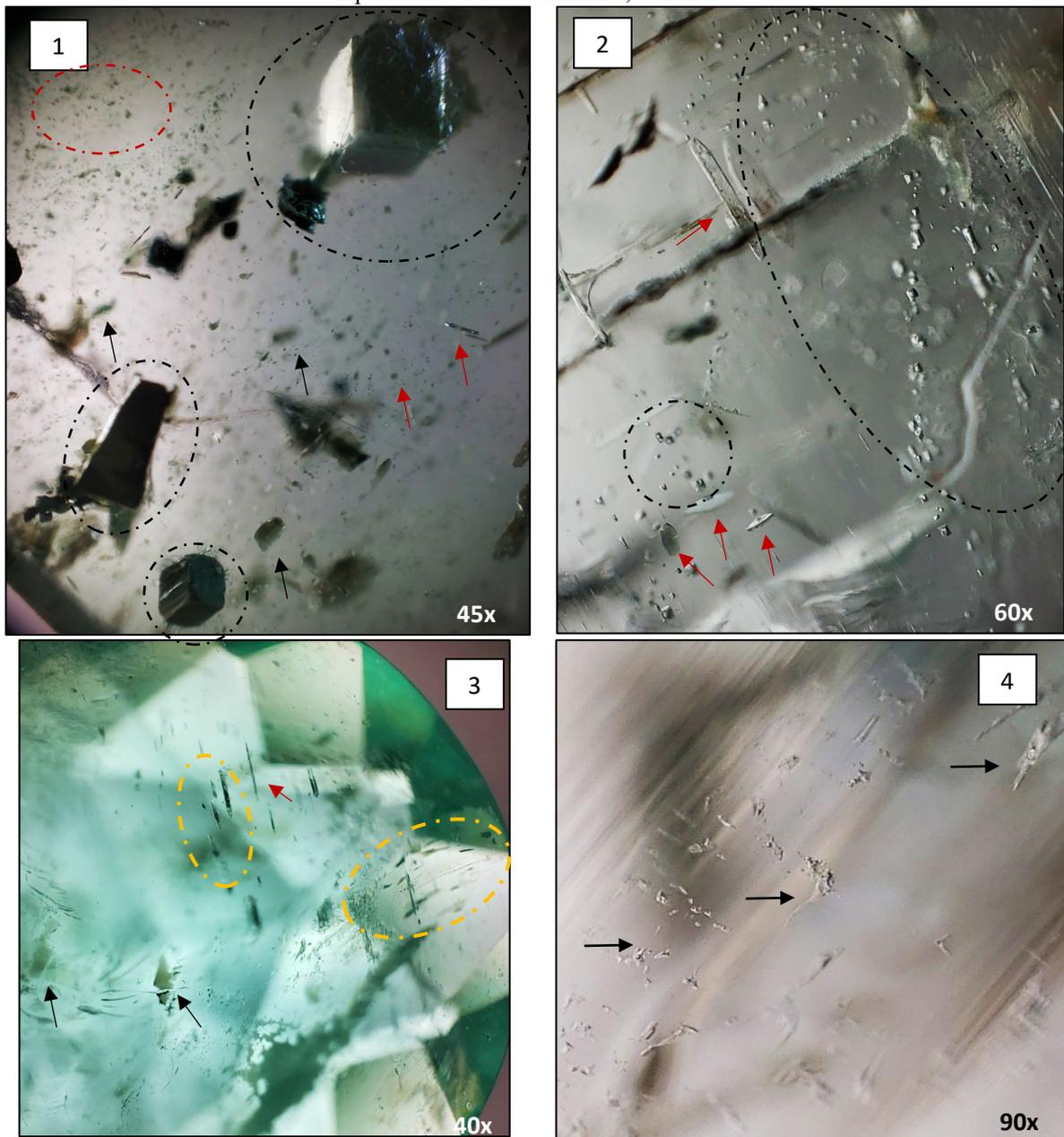


Fonte: Autorial própria, 2022.

O equipamento se mostrou ainda, muito eficiente do ponto de vista da caracterização genética de amostras de esmeralda de diferentes origens geográficas, sendo eficiente na caracterização dessas gemas e possibilitando, a sugestão de origem geográfica, conforme pode ser observado nas fotomicrografias de 1 a 4, da prancha 7.



Prancha 7: Análise das discontinuidades internas em amostras de esmeralda de diferentes origens geográficas, evidenciando a possibilidade de caracterização com sugestão de origem. (1): inclusões protogenéticas de pirita, (círculo preto) agregados granulares de picotita (círculo vermelho), flogopita (seta preta) e micrólitos de inclusões fluidas (seta vermelha) em esmeralda de Santa Teresinha de Goiás facetada; (2): canaliculos estruturais alongados e achatados (círculo preto), cristais de flogopita e moscovita (seta vermelha) em esmeralda facetada de Itabira, MG; (3): zonamento de cor marcante em tons de verde médio e verde pálido, cristais de flogopita (seta preta) e tremolita (seta vermelha) protogenéticas e escassas cavidades de inclusões fluidas (círculo amarelo) em esmeralda facetada de Carnaíba; (4): cavidades de inclusões fluidas de contorno irregular denteado, trifásicas (l-g-s), contendo um halogeneto individualizado em esmeralda bruta da Colômbia. Fotomicrografias capturadas sob luz transmitida, sem filtro.



Fonte: Autoria própria, 2022.

ANÁLISES COMPARATIVAS DOS RESULTADOS

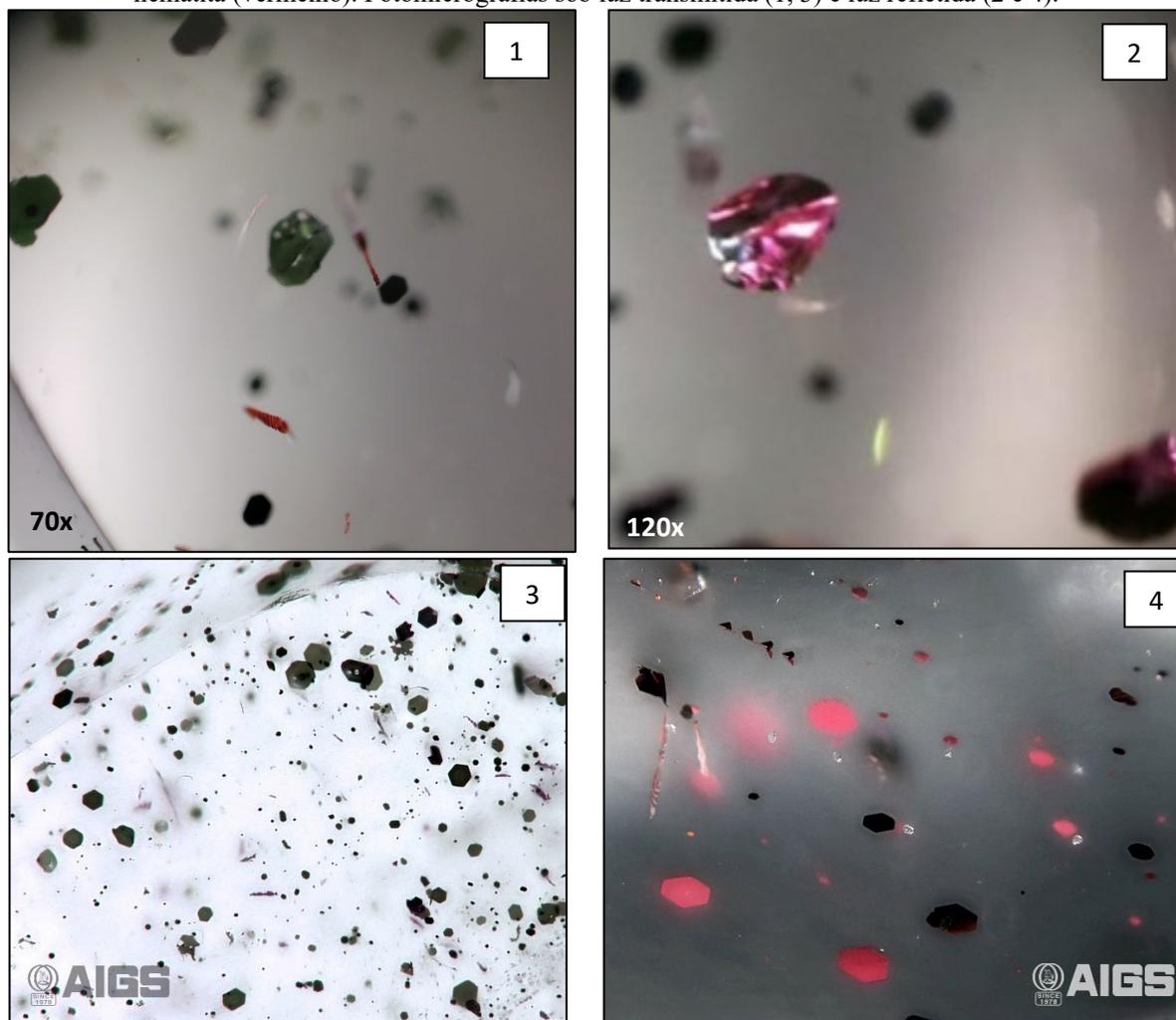
Para as análises comparativas com os bancos de dados gratuitos disponíveis na web, foram selecionadas 4 amostras de materiais gemológicos distintos, quer sejam: quartzo *pink*



fire facetado, quartzo com inclusões de giralita natural em cabochão, água-marinha natural facetada, topázio imperial natural facetado e pedra-do-sol natural em cabochão.

No quartzo *pink fire* foi possível observar com nitidez, as inclusões de covelita singenéticas, que apresentam o efeito óptico de aventurinização sob luz refletida. Adicionalmente as cavidades de inclusões fluidas abundantes e os agregados colunares de hematita (prancha 8, fotomicrografias 1 e 2). A descrição de tais estruturas é suficiente para caracterizar corretamente o espécime, conforme observado nas imagens disponíveis no banco de dados do *Asian Gemological Institute*, obtidas a partir de microscopia de campo escuro (prancha 8, fotomicrografias 3 e 4)

Prancha 8: Análise comparativa das discontinuidades internas em amostras de esmeralda de diferentes origens geográficas, evidenciando a possibilidade de caracterização com sugestão de origem. (1): inclusões singenéticas de covelita (verde), agregado colunar de hematita singenética (vermelha); (2): aventurinização da covelita; (3): cristais singenéticos de covelita (verde); (4): aventurinização em cristais de covelita (rosa), agregado colunar de hematita (vermelho). Fotomicrografias sob luz transmitida (1, 3) e luz refletida (2 e 4).



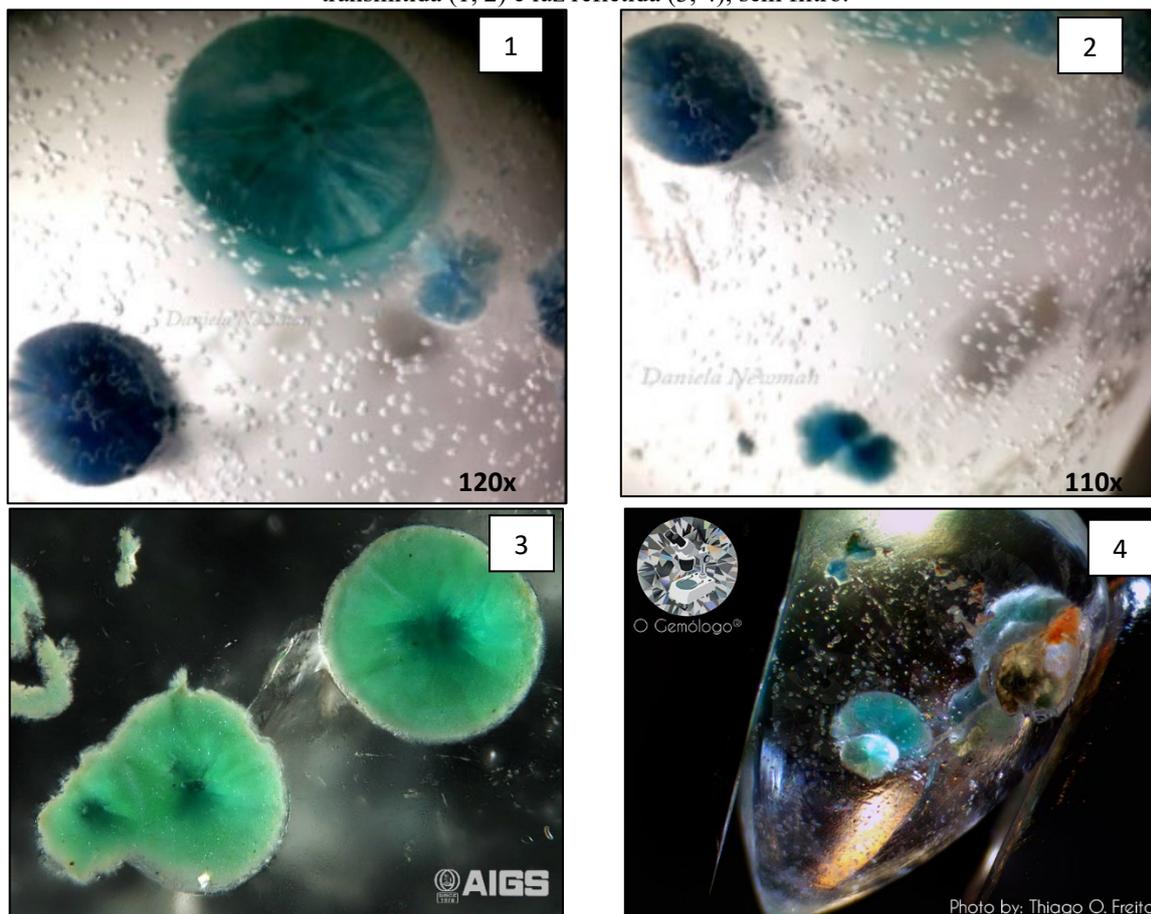
Fonte: (1 e 2) Autoria própria, 2022; (3 e 4): AIGS, 2022.

A presença dos agregados aciculares radiais de giralita, bem como dos micrólitos de inclusões sólidas associados (incolor) (prancha 9, fotomicrografias 1 e 2), é facilmente



visualizado em detalhe com a utilização da microscopia portátil, sendo essas características suficientes para embasar um diagnóstico de caracterização correto, com uma qualidade visual similar à obtida pela microscopia de imersão (prancha 9, fotomicrografia 3) e na microscopia de campo escuro (prancha 9, fotomicrografia 4).

Prancha 9: Análise comparativa das discontinuidades internas em amostras de quartzo com inclusões de gilalita, em cabochão. (1, 2) agregados aciculares radiais de gilalita, inclusão mineral incolor, granular distribuída por toda a amostra; (3): agregados radiais concêntricos de gilalita.; (4) agregados radiais de gilalita e minerais incolores distribuídos aleatoriamente por toda a amostra. Fotomicrografias capturadas sob luz transmitida (1, 2) e luz refletida (3, 4), sem filtro.

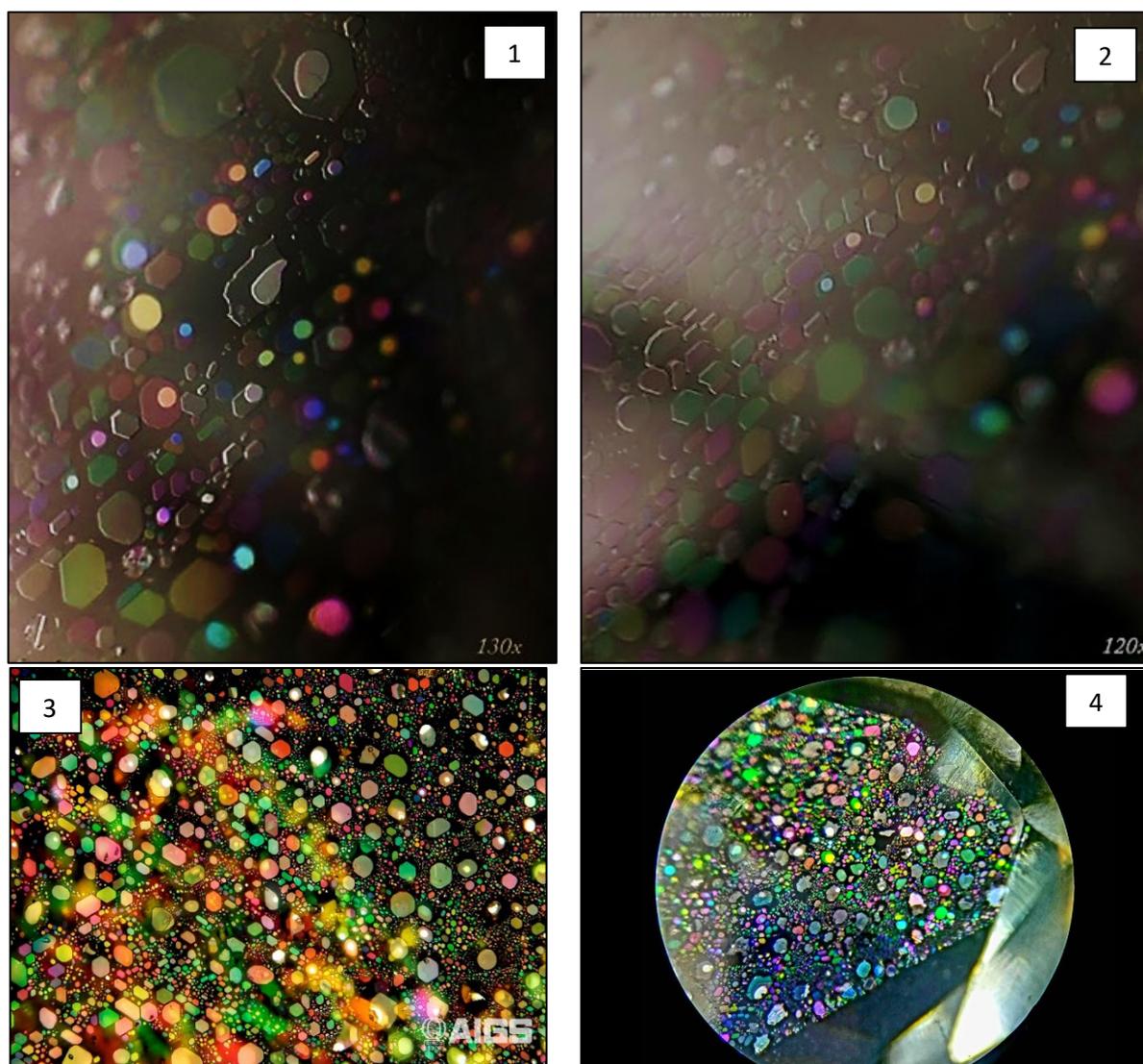


Fonte: (1 e 2) Autoria própria, 2022; (3): AIGS, 2022; (4): OGemologo, 2022.

Na amostra de água-marinha facetada foi possível observar cavidades de inclusões fluidas monofásicas (1) e bifásicas (11-12), apresentando contornos regulares, do tipo filmes finos birrefringentes. Tais cavidades apresentam-se cicatrizando uma fratura transgranular. Estas estruturas são de ocorrência comum em variedades gemológicas do mineral berilo (prancha 10, fotomicrografias 1 e 2). A visibilidade, das estruturas na microscopia portátil se assemelha em qualidade ao observado em microscopia de campo escuro (prancha 10, fotomicrografia 3) e em microscopia horizontal de imersão (prancha 10, fotomicrografia 4).



Prancha 10: Análise comparativa das discontinuidades internas em amostras de água-marinha natural facetada. (1 e 2) cavidades de inclusão fluida do tipo filmes finos birrefringentes, cicatrizando fratura transgranular em água-marinha; (3): estrutura do tipo filmes finos birrefringentes em microscopia de campo escuro; (4): filmes finos birrefringentes cicatrizando fratura transgranular em água-marinha, observada sob microscopia de imersão. Fotomicrografias sob luz refletida, sem filtro.

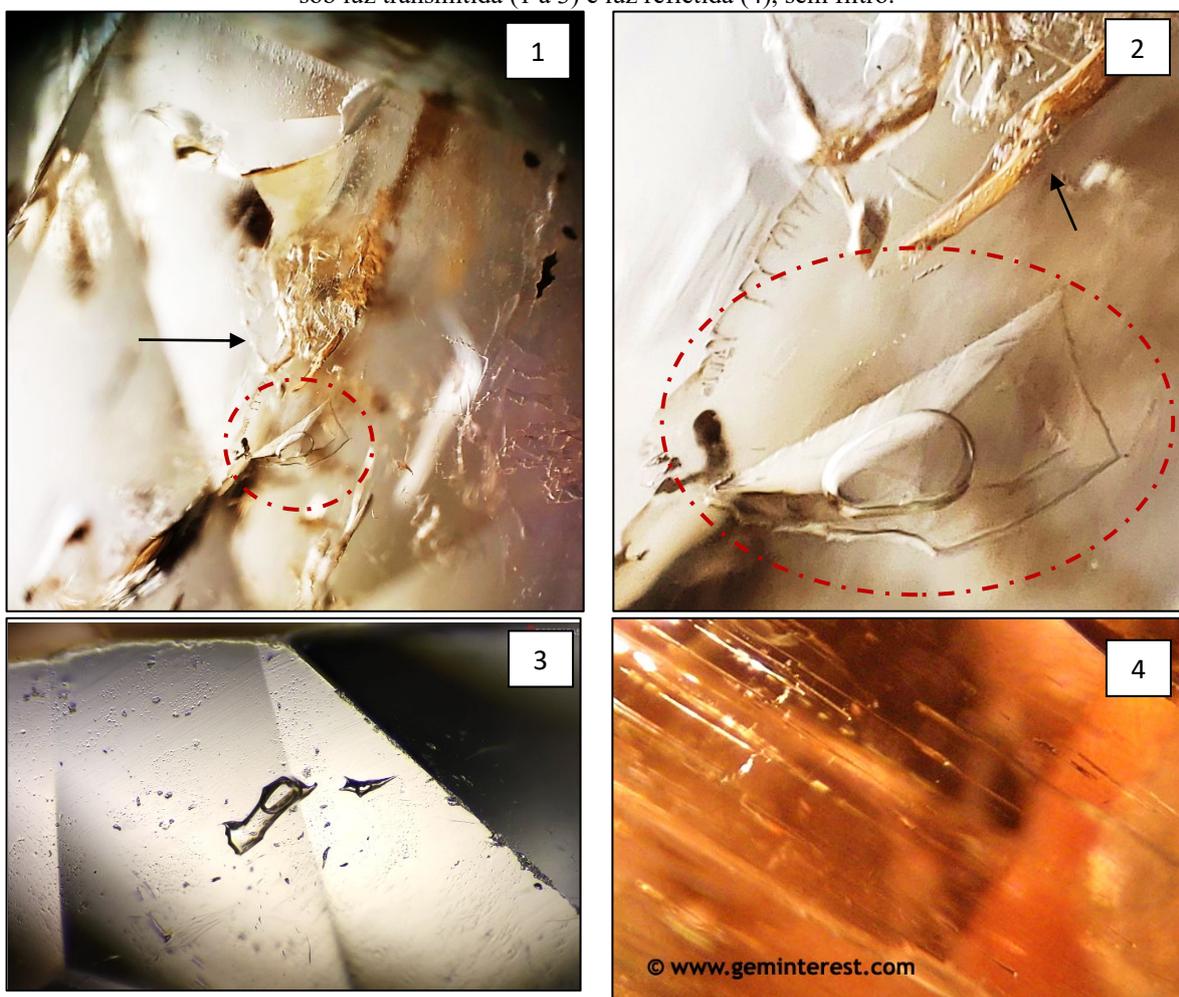


Fonte: (1 e 2) Autoria própria, 2022; (3): AIGS, 2022; (4): InclusioPedia, 2022.

Na amostra de topázio imperial observaram-se cavidades na forma de fraturas intragranulares e transgranulares parcialmente cicatrizadas por óxidos na forma de massas disseminadas. Além de cavidades de inclusões fluidas bifásicas (l-g), apresentando feições de escape de fluido (prancha 11, fotomicrografias 1 e 2). Estruturas similares a capturadas sob microscopia de campo escuro e luz transmitida (prancha, 11, fotomicrografia 3) e sob luz refletida (prancha 11, fotomicrografia 4).



Prancha 11: Análise comparativa das discontinuidades internas em amostra de topázio imperial facetada. (1 e 2, fraturas intragranulares cicatrizadas a fraturas transgranulares, parcialmente cicatrizadas (seta preta) e cavidades de inclusões fluidas bifásicas (l-g), apresentando escape de fluidos (círculo vermelho); (3) cavidades de inclusão fluida bifásicas, apresentando feição de escape de fluidos; (4): planos de clivagem em topázio. Fotomicrografias sob luz transmitida (1 a 3) e luz refletida (4), sem filtro.



Fonte: (1, 2); (3) InclusioPedia, 2022; (4): geminterest.com, 2022.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das informações coletadas, descritas e observadas neste trabalho, por meio da descrição de vasta gama de discontinuidades de propriedades físicas e ópticas, presentes em distintos materiais gemológicos, é possível afirmar que a utilização da microscopia portátil se mostrou eficaz. Na maioria dos casos, os resultados obtidos são similares ou superiores àqueles tomados a partir de sistemas de microscopia tradicionalmente aplicados à análise de gemas. O equipamento se mostra eficiente ferramenta de auxílio na identificação e distinção da natureza de materiais gemológicos brutos, lapidados em cabochão ou facetados. Atrrelado à sua portabilidade e baixo custo, comparado aos outros sistemas de microscopia, pode substituir os equipamentos tradicionais, possibilitando realizar uma caracterização gemológica consistente, tanto em laboratório, quanto em atividades externas (campo, participação em feiras, compra direta de materiais gemológicos, dentre outros).



Importante ressaltar que para materiais gemológicos brutos, a melhor observação é realizada em regiões com maior diafaneidade, em amostras limpas e com faces mineralógicas preservadas. No que tange aos materiais lapidados em cabochão, houve dificuldade de observação de estruturas mais profundas, naqueles exemplares muito espessos e cujas bases não se encontravam polidas, o que impossibilitou a análise do material através dessas superfícies. Para as gemas com lapidação facetada, as maiores dificuldades residem na observação daquelas com pavilhão muito profundo e principalmente nas estruturas posicionadas nas porções centrais do espécime. Nestes casos é importante mudar a posição da gema na porta amostra, bem como variar a direção de observação.

Fica demonstrado com esse trabalho a alta aplicabilidade dessa técnica, como ferramenta auxiliar nos trabalhos de caracterização de gemas, das mais variadas espécies, naturezas, melhoradas ou não. Ressaltando que não se trata de uma tecnologia para substituir os diversos tipos de microscopia tradicionalmente aplicados nos laboratórios gemológicos.

REFERÊNCIAS

AIGS. **Gem Inclusion Database**. 2022. Disponível em: [HTTPS://WWW.AIGSTHAILAND.COM/INCLUSION-EN](https://www.aigsthailand.com/inclusion-en). Acesso em 18 de julho de 2022.

BARRETO, G. G.; COSTA, N. P. da. **Microscopia óptica em escola pública**. In: **Congresso Nacional de educação**. p.02, 2017. Disponível em: [HTTPS://EDITORAREALIZE.COM.BR/EDITORA/ANAIS/CONEDU/2017/TRABALHO_EV073_MD1_SA16_ID8952_14102017194309.PDF](https://editorarealize.com.br/editora/anaais/conedu/2017/trabalho_EV073_MD1_SA16_ID8952_14102017194309.pdf). Acesso em 26 de junho de 2022.

CASTAÑEDA, C. **O estudo de inclusões**. Monografia, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 1995. 66 p.

DOS REIS, J. M. et al. **A Inovação Tecnológica como Elemento de Redução de Custos na Administração**. p.1289, 2018. Disponível em: [HTTP://WWW.EGEN.ORG.BR/SITES/DEFAULT/FILES/A%20INOVA%C3%A7%C3%A3O%20TECNOL%C3%B3GICA%20COMO%20ELEMENTO%20DE%20REDU%C3%A7%C3%A3O%20DE%20CUSTOS%20NA%20ADMINISTRA%C3%A7%C3%A3O%20P%3%BABLICA.PDF](http://www.egen.org.br/sites/default/files/a%20inova%C3%A7%C3%A3o%20tecnol%C3%B3gica%20como%20elemento%20de%20redu%C3%A7%C3%A3o%20de%20custos%20na%20administra%C3%A7%C3%A3o%20p%C3%BAblica.pdf). Acesso em 11 de junho de 2022.

GANDINI, A. L. **Aspectos da Mineralogia, Geoquímica, Gênese e Potencialidade Econômica do Campo Pegmatítico de Marilac, Minas Gerais**. Tese de Doutorado. São Paulo, Instituto de Geociências, 1999.

GEMINTEREST. **Inclusions**. 2022. Disponível em: [HTTPS://GEMINTEREST.COM/INCLIST.PHP](https://geminterest.com/inclist.php). Acesso em 18 de julho de 2022.

GEMGUIDE. **Market Driven Independent Price – Diamonds and Colored Gemstones**. July/August, (4):41, 95p. 2022.



GUBELIN, E. J.; KOIVULA, J. I. **Photoatlas of inclusions in gemstones: v 1, 2, 3, 5 ed.** Zurich: ABC, 2008.

INCLUSIOPIEDIA. **Inclusions.** 2022. Disponível em: [HTTPS://WWW.INCLUSIOPIEDIA.COM/GEMSTONES/](https://www.inclusiopedia.com/gemstones/). Acesso em 18 de julho de 2022.

NEWMAN CARVALHO, D. T. **Disciplina Gemologia 2. Notas de aula.** Universidade Federal do Espírito Santo, 2021.

NEWMAN CARVALHO, D. T. **Estudos Mineralógicos e Microtermométricos de algumas espécies mineralógicas oriundas de pegmatitos dos Distritos Pegmatíticos de Santa Maria de Itabira e Governador Valadares, Minas Gerais.** 2009. 318f. Tese de Doutorado, Contribuições às Ciências da Terra, Escola de Minas, Ouro Preto, 2009.

NEWMAN, J. A. **Disciplina de Certificação de Gemas. Notas de aula.** Universidade Federal do Espírito Santo, 2021.

OGEMOLOGO. **Galeria de Inclusões.** 2022. Disponível em: [HTTPS://WWW.OGEMOLOGO.COM/?PAGE_ID=103](https://www.ogemologo.com/?PAGE_ID=103). Acesso em 18 de julho de 2022.

SCHWARZ, D.; CURTI, M. **Emerald – Modern Gemmology. Bellerophon Gemlab.** France, 481p. 2020.

SCHWARZ, D. **Esmeraldas: inclusões em gemas.** Imprensa Universitária, Universidade Federal de Ouro Preto, p.3-58-397, 1987. Disponível em [FILE:///E:/HD%20EXTERNO/HD%20EXTERNO/MAIS%20MAT%C3%A9RIAS/SINTERIZA%C3%A7%C3%A3O/MATERIAL/XSCHWARZ%20LIVRO%20ESMERALDAS%20\(1\).PDF](file:///E:/HD%20EXTERNO/HD%20EXTERNO/MAIS%20MAT%C3%A9RIAS/SINTERIZA%C3%A7%C3%A3O/MATERIAL/XSCHWARZ%20LIVRO%20ESMERALDAS%20(1).PDF). Acesso em 27 de junho de 2022.



CAPÍTULO 5

ANÁLISES IMPLÍCITAS DE DADOS NA PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO

Diovan de Oliveira Leal
David Batista Gesuino
Érica da Silva Sipriano
Fernanda Martins Bonfante
Merisandra Cortês de Mattos Garcia
Rogério Antônio Casagrande
Luciano Antunes
Kristian Madeira

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo, desenvolver uma pesquisa bibliométrica na ciência da computação a partir de trabalhos que empregam técnicas de análises implícitas. Além do mapeamento bibliométrico, também foi realizada a fundamentação teórica sobre, análises implícitas e bibliometria. São investigados os artigos que abordam alguma das seguintes análises implícitas: Apriori, árvores de decisão, classificadores *bayesianos*, *DBSCAN*, *FP-Growth*, máquinas de vetores de suporte, redes neurais artificiais, *k-means* e *k-medoid*. Os artigos científicos analisados são oriundos de três bases de dados, *SciElo*, *Scopus* e *Web of Science*.

PALAVRAS-CHAVE: Bibliometria, análises, periódicos.

INTRODUÇÃO

Nas produções científicas no campo da ciência orientada a dados, observa-se a predominância de um objetivo macro comum, a capacidade de extrair conhecimento de grandes e heterogêneas bases de dados, por meio de métodos de análises implícitas (BUFREM *et al.*, 2016). As pesquisas nesta área de conhecimento aplicam estes métodos de análise de dados e considerando a importância do assunto é interesse científico que estudos de mapeamento da ciência auxiliem no entendimento do cenário das produções científicas.

Neste sentido, o emprego da bibliometria pode resolver importantes questões em torno de informações úteis aos pesquisadores referentes a produção de conhecimento na área de dados dentro da computação. Portanto, este trabalho tem por objetivo, mapear por meio da bibliometria a produção científica deste cenário de pesquisa.

REFERENCIAL TEÓRICO

No contexto de ciência dos dados onde volume, variedade e velocidade são aspectos pertinentes a este campo de estudo. É fato que métodos específicos de análise de dados sejam



empregados para a produção do conhecimento, estes métodos são as análises implícitas (POLA, 2018; ROSA, 2018). As análises implícitas são aplicadas em casos onde a informação não está explícita e de fácil acesso. Quando a pergunta envolve dados que não estão estruturados, não possuem relação direta, são heterogêneos e volumosos. Para estes casos os métodos de análises implícitos são úteis e necessários (AMARAL, 2016).

Desta forma, de acordo com o autor Fernando Amaral em que na sua obra: *Introdução à Ciência de Dados: mineração de dados e big data*, as seguintes análises implícitas são abordadas: árvores de decisão, classificadores bayesianos, redes neurais artificiais, máquina de vetores de suporte, k-means, k-medoid, DBSCAN, Apriori e FP-Growth (AMARAL, 2016). Estes métodos e algoritmos citados, frequentemente aparecem em artigos científicos que tratam problemas acerca de dados, sendo assim esta pesquisa bibliométrica os investigará.

A bibliometria é uma área de estudos do campo da ciência da informação, que de forma quantitativa e estatística avalia as publicações científicas e decorrente disso gera indicadores relativos à produção de conhecimento, auxiliando no entendimento e direcionamento das pesquisas. (MEDEIROS; VITORIANO, 2015; SÁNCHEZ; ALBA-RUIZ; RAMIRO, 2014). Quanto à fundamentação, a bibliometria é regida por três leis principais, lei de Bradford, Zipf e Lotka.

Bradford aferi quão reputável um periódico é, possibilitando detectar os periódicos mais importantes e que prioriza a circulação de determinado tema em específico. Ainda, os artigos estão distribuídos igualmente em três zonas de periódicos, muito produtivas, produtividade intermediária e pouco produtivas (CHUEKE; AMATUCCI, 2015; MACHADO JUNIOR *et al.*, 2016). Zipf quantifica a frequência de palavras-chave, revelando os temas mais recorrentes em uma linha de pesquisa, resultando uma lista ordenada de termos mais frequentes por assunto (RIBEIRO; MOLINA; OLIVEIRA, 2015). Lotka mensura a produtividade dos autores, identificando os mais produtivos em um campo do conhecimento, propondo que a maioria das publicações advêm da minoria dos autores. (CHUEKE; AMATUCCI, 2015; MACHADO JUNIOR *et al.*, 2016). A bibliometria e suas leis possibilitam a avaliação da produção científica e isto ocorre por meio de grupos de indicadores bibliométricos de quantidade e qualidade científica. Qualidade científica é um índice obtido por meio da crítica realizada ao conteúdo de uma publicação, enquanto que atividade científica é uma medida, e portanto quantitativa acerca do, número de trabalhos publicados, número da produção individual dos autores, número de coautorias entre outros (LOPES *et al.*, 2012).



Quanto à produtividade e impacto dos pesquisadores, é utilizado o indicador h-index, este índice trabalha com o número das citações dos artigos, lista-se todos os artigos de um autor ordenando-a decrescentemente por número de citações, quando existe um número máximo de citação que contempla a todas as citações então este é o h-index do autor.

A pesquisa bibliométrica além das leis e indicadores conta com o auxílio de ferramentas para o desenvolvimento da investigação, as ferramentas de pesquisa bibliométrica em maior uso são Web of Science, Scopus e Google Scholar Metrics, por meio destas fontes o investigador científico tem a sua disposição para consulta indicadores como o h-index, assim como inúmeros artigos de pesquisa. (LOPES *et al.*, 2012).

METODOLOGIA

Este trabalho, é uma pesquisa bibliométrica direcionada a investigar a produção de conhecimento em ciência da computação pelo emprego das análises implícitas, logo a bibliometria é utilizada como referencial metodológico. Portanto trata-se de uma pesquisa quantitativa visto que tem como objetivo medir, aferir e quantificar.

Para o desenvolvimento desta exploração científica foram definidas determinadas etapas de execução. Escolha das análises implícitas, área de concentração da aplicação das análises, definição da estratégia de busca, definição das bibliotecas eletrônicas, pesquisa exploratória, download e organização dos artigos, análise superficial dos artigos, análise detalhada dos artigos, extração e análise dos dados e relacionamento dos dados levantados.

A primeira etapa define quais análises implícitas compõe a pesquisa. As seguintes análises serão investigadas na bibliometria: árvores de decisão, classificadores *bayesianos*, redes neurais artificiais, máquina de vetores de suporte, *k-means*, *k-medoid*, *DBSCAN*, Apriori e *FP-Growth*. Quanto ao campo de atuação, os artigos devem resolver problemas na esfera da computação (AMARAL, 2016).

Com as análises e o campo já delimitados foram criadas as estratégias de busca, cada estratégia ficou estruturada com o nome da análise em inglês entre aspas duplas, seguido do operador lógico *AND* mais o nome da área em inglês entre aspas duplas.

Portanto estas foram as estratégias empregadas, "*Decision trees*" *AND* "*Computer science*", "*Bayesian Classifiers*" *AND* "*Computer science*", "*Bayesian Classification*" *AND* "*Computer science*", "*Artificial neural networks*" *AND* "*Computer science*", "*Support Vector Machine*" *AND* "*Computer science*", "*K-means*" *AND* "*Computer science*", "*K-medoid*" *AND*



"Computer science", "DBSCAN" AND "Computer science", "Apriori" AND "Computer Science" e "FP-Growth" AND "Computer Science".

A próxima etapa é a escolha das bibliotecas digitais que foram pesquisadas, quanto a isto, por serem mais difundidas no meio científico, as seguintes fontes de dados foram utilizadas: *SciElo*, *Scopus* e *Web of Science*.

Nestas bases de dados foram aplicados os seguintes critérios de buscas, além da *string* de consulta, o único filtro aplicado é referente à artigos que sejam de acesso público, ou seja, sem custos ou restrições, também não foi restringido por data, autor ou qualquer outro limitador de busca.

A pesquisa exploratória foi realizada nas datas compreendidas entre 08 e 11 de abril de 2019. Os resultados de quantidades de artigos X estratégia X base de dados foram tabulados e serviram como base para a próxima etapa da pesquisa. A etapa de download e organização dos arquivos foi desenvolvida entre os dias 25 de abril e 03 de maio de 2019.

Após fazer o *download* e organizar os arquivos, então foi realizada a leitura superficial de cada artigo, que consiste da leitura do título, subtítulo, resumo, palavras-chave e título dos capítulos, feito isto os artigos foram tabulados com os seguintes dados, nomes dos periódicos, nomes dos artigos, o campo sim ou não refere-se ao enquadramento do artigo com o objetivo da pesquisa, o campo aplicação é referente a área de estudo que é identificada no artigo e o campo observação para qualquer informação adicional.

Quanto ao enquadramento do artigo, foi usado como critério estar evidente o uso de uma das análises na área da ciência da computação e o documento deve ser um artigo, livros ou artigos estritamente caracterizados como levantamento bibliográfico ou análises bibliométricas foram descartados. Ao fim da primeira triagem dos artigos, é iniciada a etapa de análise detalhada dos arquivos, que consiste da leitura completa destes.

Nesta etapa algumas informações foram transcritas do artigo para a planilha, como: autor, co-autores, ano, universidade, país, revista, título e palavras-chave. Outras necessitaram análise e extração de informações como: objetivo, metodologia, resultados, limitação, conclusão e técnica empregada. Enquanto outras precisaram ser consultadas em fontes específicas como *h-index*, que é consultado na base da Scopus, assim como o *qualis* que é consultado na plataforma Sucupira.

A última planilha representa os dados finais da pesquisa, a partir destes foi realizada a análise bibliométrica, aplicando as leis basilares da bibliometria, e índices bibliométricos

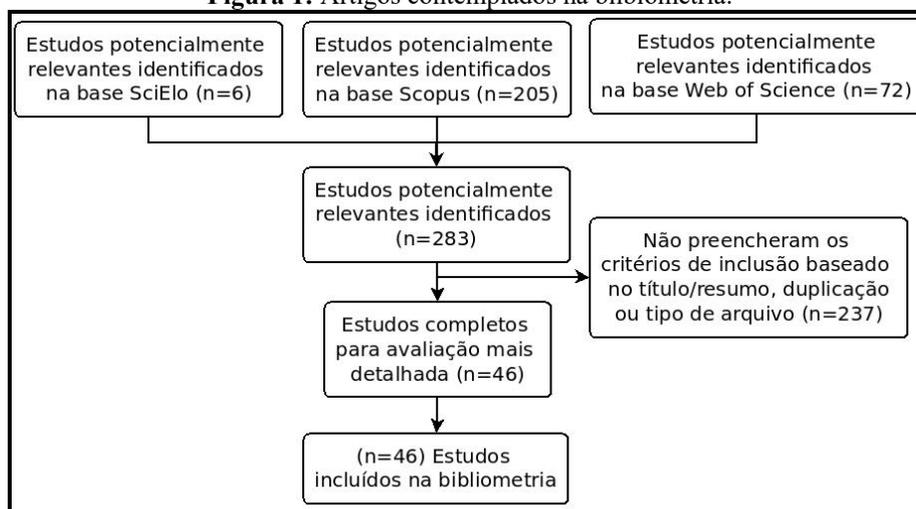


pertinentes, possibilitando então, o entendimento das tendências das pesquisas da área assim como lacunas.

RESULTADOS

Nesta seção os resultados serão apresentados e discutidos em relação às leis bibliométricas. Esta pesquisa na primeira fase contou com duzentos e oitenta e três artigos. Após as etapas de análise a quantidade de artigos foi reduzida para quarenta e seis, conforme figura 1 e tabela 1. Destacam-se: base *Scopus* que indexa quarenta e dois artigos, as duas análises com maior quantidade de artigos: *artificial neural networks* com treze artigos e *support vector machine* com doze artigos e ausência de artigos com a análise *bayesian classification* ou *classifiers*.

Figura 1: Artigos contemplados na bibliometria.



Fonte: Elaboração dos autores, 2022.

Tabela 1: Distribuição das análises.

Análise implícita	Repositórios			Total
	<i>SciELO</i>	<i>Scopus</i>	<i>Web of Science</i>	
<i>Decision Tree</i>	0	7	0	7
<i>Bayesian Classifiers</i>	0	0	0	0
<i>Bayesian Classification</i>	0	0	0	0
<i>Artificial neural networks</i>	1	12	0	13
<i>Support Vector Machine</i>	0	12	0	12
<i>K-means</i>	0	8	1	9
<i>K-medoid</i>	0	1	0	1
<i>DBSCAN</i>	0	1	0	1
<i>Apriori</i>	0	1	1	2
<i>FP-Growth</i>	0	0	1	1
10	1	42	3	46

Fonte: Dados dos autores, 2022.



Quanto aos autores, são quarenta e cinco, apenas um autor tem dois artigos presentes nesta fase, o pesquisador Chinês Ye, Yongkai, filiado a National University of Defense Technology, seus dois trabalhos empregam a técnica de análise implícita k-means.

Referente ao h-index, os autores com maiores h-index são: Brázdil Thomáš, Artur S. D'Avila Garcez e Mahajan, Meena com os respectivos h-index quinze, treze e doze, a tabela 2 representa os intervalos h-index e a quantidade de autores em cada intervalo. O h-index é um indicador de impacto e produtividade do autor, por inferência o resultado obtido confirma a lei de Lotka, que propõe que a maioria das publicações advêm da minoria dos autores (MACHADO JUNIOR *et al.*, 2016).

Tabela 2: Intervalos *h-index* por frequência de autores.

Intervalo h-	Frequência
0 -- 2	12
2 -- 4	11
4 -- 6	9
6 -- 8	4
8 -- 10	5
10 -- 12	1
12 -- 14	2
14 --16	1
Autores	44

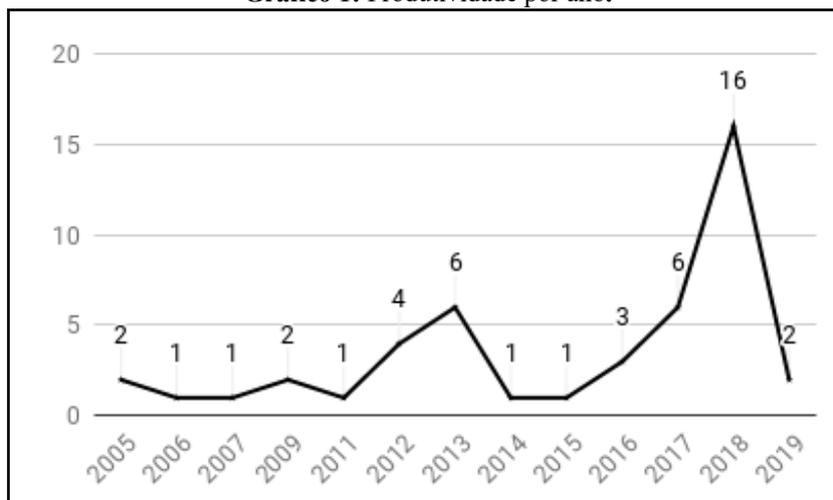
Fonte: Dados dos autores, 2022.

Ainda, analisando o cenário de autoria e coautoria. Entre os coautores, apenas Xinwang Liu, Qiang Liu e Jianping Yin participam em mais de um trabalho, analisando este dado em específico, foi identificado que estes três autores publicam juntamente com o autor Ye, Yongkai, e, estes trabalhos têm como foco a análise k-means.

Quanto a produtividade por ano, observa-se que a produtividade anual anterior a 2018 tem leves oscilações, no entanto o ano de 2018 apresenta notável crescimento conforme gráfico



Gráfico 1: Produtividade por ano.



Fonte: Elaboração dos autores, 2022.

Analisando a produtividade por país, conforme tabela 3, destacam-se países como: China e Índia, que mais contribuíram com a pesquisa, nove e sete artigos respectivamente, a maioria absoluta dos demais países produziu um artigo. Novamente, por inferência o princípio de Lotka é observado, poucos produzindo muito e muitos com pouca produção.

Tabela 3: Produtividade por país.

Nº artigos	Países
9	China
7	Índia
4	Marrocos
2	Alemanha, Estados Unidos da América, República da Coreia (Coreia do Sul), Romênia e Vietnã
1	Arábia Saudita, Brasil, Colômbia, Dinamarca, Filipinas, Grécia, Indonésia, Inglaterra, Irã, Malásia, México, Palestina, República Tcheca, Rússia, Sri Lanka e Turquia

Fonte: Dados dos autores, 2022.

Quanto aos periódicos, os mesmos são avaliados por quantidade e qualidade. Quantitativamente destacam-se os periódicos *Hindawi*, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* e *IEE access* com oito, cinco e quatro artigos respectivamente. Qualitativamente tendo como referência o *qualis*, destaca-se o periódico *Theoretical Computer Science* com avaliação máxima, A1. Ainda, observa-se que muitas revistas não possuem esta avaliação *qualis* na plataforma Sucupira.



Tabela 4: Relação artigos para periódicos.

Nº artigos	Nome periódico	Nº periódico
8	Hindawi	1
5	International Journal of Advanced Computer Science and Applications	1
4	IEEE access	1
3	International Journal of Machine Learning and Computing; Procedia Computer Science; Theoretical Computer Science	3
2	Information Technology Journal	1
1	Advances in Electrical and Computer Engineering; De Gruyter Open; Heliyon; IBM India Research Lab; Ingeniería y Universidad; International Conference on Computational Science; International Conference on Image Analysis and Processing; International Federation for Information Processing; Journal of Computing and Information Technology; Journal of Information Processing Systems; Journal of Mathematical Neuroscience; Lecture notes in computer science (internet); Materials Science and Engineering; PHYSICAL REVIEW X; Procedia Engineering; Telkomnika; Transactions on Architecture and Code Optimization; Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences	18

Fonte: Dados dos autores, 2022.

Estabelecendo uma relação entre revistas e artigos. É possível confirmar alguma proximidade com a lei de Bradford, que propõe zonas de produtividade. Nesta pesquisa a zona muito produtiva é composta por duas revistas com cinco e oito artigos cada, a zona com produtividade razoável é formada por quatro revistas que possuem quatro ou três artigos e finalmente a zona menos produtiva com dezenove periódicos com um ou dois artigos, estabelecendo assim uma relação com o que Bradford afirma, conforme tabela 4 (ALVARADO, 2007).

Os artigos também foram analisados quanto às palavras-chave. Nesta pesquisa foram catalogadas as palavras-chave que estão explicitamente declaradas. Das palavras catalogadas destaca-se *clustering, k-means, support vector machine, computing, network, mining, system, tree, artificial neural network e classification*.

Conforme análise dos artigos, pode-se identificar grupos de artigos com objetivos semelhantes, foi identificado cinco grupos nos quais os artigos se enquadram.



Grupo de artigos que de forma geral objetivam resolver algum problema relacionado a performance de algoritmo, ou pesquisa de aperfeiçoamento de desempenho em arquitetura computacional ou a correção de algum processo de algoritmo ou arquitetural da computação. É entendido como: pesquisa e desenvolvimento. Estas características estão presentes em vinte e seis artigos.

Quanto a análise adotada por este grupo, são abordadas pelo menos uma destas técnicas, RNA, árvores de decisão, *k-means*, *SVM*, *DBSCAN*, Apriori e Fp-growth. Há também trabalhos voltados para o Processamento de Linguagem Natural, estes trabalhos tem como foco desenvolver tecnologias que permitam que a interação homem-máquina seja mais transparente e natural, possibilitando às máquinas reconhecer as mais diversas formas pelas quais os seres humanos, se comunicam e se expressam, doze artigos compõem este grupo, e as análises utilizadas são árvores de decisão, RNA e SVM.

A segurança computacional também é abordada por alguns artigos, cinco artigos estão alinhados com este objetivo de pesquisa e utilizam árvores de decisão, RNA e Apriori.

Detectado que um artigo tem como objetivo contornar problemas relacionados as lacunas de dados em *datasets*, considerado um problema para as análises de dados e utiliza árvores de decisão para propor soluções neste campo. Finalmente o quinto grupo está relacionado à pesquisa e indexação de conteúdo, dois artigos têm suas pesquisas voltadas a este propósito e utilizam *DBSCAN* e *k-medoid* nas soluções propostas, conforme tabela 5.

Tabela 5: Relação grupos de pesquisa, artigos, análises.

Grupo de pesquisa	Nº artigos	Análises implícitas
Pesquisa e desenvolvimento	26	RNA, árvores de decisão, k-means, SVM, DBSCAN, Apriori e Fp-growth.
Processamento de Linguagem Natural	12	Árvores de decisão, RNA e Apriori.
Segurança computacional	5	Árvores de decisão, RNA e Apriori.
Pesquisa e indexação de conteúdo	2	DBSCAN e k-medoid.
Ausência de dados	1	Árvores de decisão

Fonte: Dados dos autores, 2022.

Pela perspectiva de grupos de pesquisa, as árvores decisão são empregadas em quatro dos cinco grupos, sendo a análise mais utilizada, Apriori e RNA são empregadas em três grupos, *DBSCAN* é utilizada em dois grupos e é utilizada em apenas um grupo as análises *k-means*, *k-medoid*, *SVM* e *FP-Growth*. Finalmente, o último indicador bibliométrico analisado é quanto



ao idioma das pesquisas, constatou-se que todos os artigos desta pesquisa estão na língua inglesa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa por meio da bibliometria mapeou a produção de conhecimento em ciência da computação, no escopo de artigos que empregam análises implícitas para resolver problemas específicos da área. De acordo com a pesquisa, neste cenário inglês é a língua dominante. Ainda segundo análise de produtividade anual entende-se que este campo de pesquisa encontra-se em evolução. Quanto aos autores destacam-se: Ye Yongkai, Brázdil Thomáš, Artur S. D'Avila Garcez e Mahajan, Meena. Também foi identificado dois países mais produtivos: China e Índia. Relacionado às análises, as mais utilizadas são: árvores de decisão, redes neurais artificiais e *Apriori*. Identificado cinco campos de pesquisa, entre eles duas possíveis tendências e uma possível lacuna, além das palavras -chave mais utilizadas.

REFERÊNCIAS

ALVARADO, R. U. A Bibliometria: história, legitimação e estrutura. In: **Para entender a ciência da informação**. Salvador, EDUFBA. 2007. Disponível em: https://www.academia.edu/1390400/A_BIBLIOMETRIA_HISTORIA_LEGITIMA%C3%87%C3%83O_E_ESTRUTURA. Acesso em: 05 mai. 2019.

AMARAL, F. “Introdução à ciência de dados: mineração de dados e big data”. Rio de Janeiro: **Alta Books**. 2016.

BUFREM, L. S *et al.* Produção Internacional Sobre Ciência Orientada a Dados: análise dos termos Data Science e E-Science na Scopus e na Web of Science”. In: **Informação & Informação**, Londrina, v. 21, n. 2, p.40-67, dez. 2016. Universidade Estadual de Londrina. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/informacao/article/view/26543/20114>. Acesso em: 21 abr. 2019.

CHUEKE, G. V.; AMATUCCI. O que é bibliometria? Uma introdução ao Fórum. In: **Revista Eletrônica de Negócios Internacionais**. São Paulo, v. 10, n. 2, p. 1-5, mai/ago. 2015. Disponível em: <http://internext.espm.br/internext/article/view/330>. Acesso em: 21 mar. 2019.

LOPES, S. *et al.* A Bibliometria e a Avaliação da Produção Científica: indicadores e ferramentas” In: **Actas do congresso Nacional de bibliotecários, arquivistas e documentalistas**. Lisboa, n. 11, p. 1-7, 2012. Disponível em: <https://www.bad.pt/publicacoes/index.php/congressosbad/article/view/429> . Acesso em: 13 mar. 2019.

MACHADO, J. C. *et al.* “As Leis da Bibliometria em Diferentes Bases de Dados Científicos”. In : **Revista de Ciências da Administração**. Florianópolis, p. 111-123, abr. 2016.



ISSN 2175-8077. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/adm/article/view/2175-8077.2016v18n44p111>. Acesso em: 20 mai. 2019.

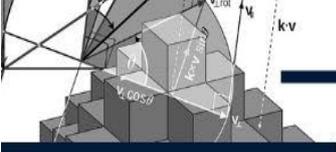
MEDEIROS, J. M. G; VITORIANO, M. A. V. A evolução da bibliometria e sua interdisciplinaridade na produção científica brasileira. In: **RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, v. 13, n. 3, p. 491-503, 25 set. 2015. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/8635791>. Acesso em: 10 mai. 2019.

POLA, C. L. Aplicação de processo de classificação e técnica de Bayes na base de dados de acidentes ocupacionais de uma empresa metalúrgica. **Repositório Institucional da UCS**. 2018. Disponível em: <HTTPS://REPOSITORIO.UCS.BR/XMLUI/BITSTREAM/HANDLE/11338/3913/TCC%20CHARLES%20DA%20LUZ%20POLA.PDF?SEQUENCE=1&ISALLOWED=Y> . Acesso em: 10 abr. 2019.

RIBEIRO, H. C. M.; MOLINA, R. C.; OLIVEIRA, T. C.. Características da Produção Acadêmica sobre Governança Corporativa no Setor Público Divulgadas no Web of Science no Período 1955-2013. In: **Revista Governança Corporativa**. São Paulo. v. 2, n. 1 . p. 94-115, abr, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/305056963_Caracteristicas_da_Producao_Academica_sobre_Governanca_Corporativa_no_Setor_Publico_Divulgadas_no_Web_of_Science_no_Periodo_1995-2013. Acesso em: 02 mai. 2019.

ROSA, C. S. Estudo sobre as técnicas e métodos de análise de dados no contexto de Big Data” . **Repositório Institucional - Universidade Federal de Uberlândia**. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/23710/1/EstudoTecnicaMetodos.pdf> . Acesso em: 18 mai. 2019.

SÁNCHEZ, M. T. R.; ALBA-RUIZ, R.; RAMIRO, T. Bibliometric profile of RUSC. Universities and Knowledge Society Journal. In: **Universities and Knowledge Society Journal**. Granada, v. 11, n. 3, p. 42-62, jul 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/264707137_Bibliometric_profile_of_RUSC_Universities_and_Knowledge_Society_Journal. Acesso em: 12 mar. 2019.



CAPÍTULO 6

O PROCESSO PROJETUAL NA ARQUITETURA CONSIDERAÇÕES ACERCA DO SEU ENSINO E PRÁTICA

Fernando dos Santos Calvetti
Sofia Bueno da Silva

RESUMO

O presente trabalho pretende propor uma discussão acerca do modelo de ensino ou pedagogia utilizada nos cursos/disciplinas de projeto arquitetônico dentro da Academia. Notam-se peculiaridades no ensino-aprendizagem de projeto arquitetônico, que está relacionada à dificuldade de uma identificação de uma metodologia clara na própria prática projetual. Para essa discussão, é necessário conceituar as diretrizes que regem um projeto arquitetônico e posteriormente, tentar compreender como elas são transmitidas ao aprendiz, permitindo, assim, contestar métodos de ensino que não sejam eficientes e analisar outros que se destacam positivamente no desempenho da disciplina. Finalmente, também se questiona como a metodologia empregada influencia na formação intelectual e crítica do aluno, fazendo também uma relação de como o espaço físico de aprendizagem pode atuar como uma ferramenta para o desempenho.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino, Projeto arquitetônico, metodologia.

INTRODUÇÃO

O presente texto é proposto como breve reflexão sobre os exercícios teórico e prático de projeto arquitetônico. Faz-se isso de forma voltada principalmente acerca da teoria do seu ensino-aprendizagem no ensino superior. O maior incentivo para essa obra vem da possibilidade de contribuir, mesmo que brevemente, com as discussões acerca do processo projetual, ou, antes, do processo criativo, um campo que vai além da arquitetura em seu viés acadêmico.

Evidencia-se a importância dessa análise e discussão dada a complexidade do “fazer projetual” na universidade. Este processo, que é recebido muitas vezes pelos estudantes de forma pouco clara, é, paradoxalmente, o que será mais utilizado ao longo da sua vida profissional. Portanto, se há falhas no ensino do método, as dificuldades acadêmicas e profissionais do estudante serão tanto maiores.

Não há pretensão de oferecer um algoritmo pronto, imparcial e absoluto para o processo do projeto arquitetônico. Há de se constatar claras preferências e inclinações metodológicas e de diretrizes nos exercícios expostos ao longo da presente obra. Reconhece-se isso de imediato pois, como afirma Duarte (2001, n.p), não há estudo crítico imparcial. O processo de projetar –



atirar à frente, arremessar – pressupõe, na sua etimologia, a incerteza de onde esse percurso repousa ou termina, ou ainda, a necessidade de alguma abstração para propor algo que ainda não existe.

A metodologia empregada na presente discussão se define a partir de uma revisão teórica, a fim de contemplar na bibliografia especializada os principais pontos considerados a serem ensinados na prática projetual, como também métodos de ensino empedados no campo acadêmico para tal disciplina. Ainda se pretende, nesse âmbito, contribuir com a discussão da importância do ambiente físico e sua influência na aprendizagem.

O ENTENDIMENTO DE ARQUITETURA DENTRO DA UNIVERSIDADE

O processo de fazer arquitetura é entendido muitas vezes, principalmente por estudantes no início da sua jornada acadêmica, como uma espécie de caixa preta que gera tantos projetos diferentes quanto estudantes na mesma sala de aula, mesmo partindo de um mesmo programa de necessidades, em um mesmo terreno. O questionamento acerca da natureza desse processo não é novo, e o atrito que cada geração enfrenta ao tentar defini-lo permeia a própria dificuldade do que de fato seria a arquitetura.

Ao passo que definir o que é arquitetura se desenha como uma tarefa ingrata há dois milênios, a crise e o questionamento acerca das metodologias de projeto, assim como da pertinência da costura entre sua teoria e prática, parecem especialmente latentes na contemporaneidade. Mahfuz (2003, n.p) contextualiza parte dessa dificuldade no início do século XXI como um legado, da modernidade, inerente ao artista. Aqui se insere também a questão do ofício, quando Mahfuz coloca como característica do arquiteto “a consciência de que seu trabalho sempre poderia ser diferente” (n.p.). Nesse sentido o autor aponta para a necessidade do diálogo interdisciplinar entre os campos dos currículos de arquitetura e urbanismo (história, teoria, estrutura, projeto) a fim de formar estudantes críticos capazes de entender determinados pontos centrais da arquitetura alheia, num processo guiado pela própria prática e que definiria o atelier de projeto.

ENSINO-APRENDIZAGEM DE PROJETO ARQUITETÔNICO

Esse diagnóstico não significa a repetição exaustiva e a adequação de soluções anteriores para novos problemas, mas sim a busca por um método capaz de estruturar a prática, como propõe Argan (1992, p.53). Stroeter (1986, p.78) reforça essa conversa a definindo como a importância da curva de aprendizado histórica da arquitetura, associando a teoria projetual como o ato de pensar a arquitetura simultaneamente no passado, no presente e no futuro.



Há de se ressaltar, nesse ponto, outra herança, dessa vez restrita ao modernismo arquitetônico. A relação que os arquitetos brasileiros formados em escolas com pesados legados dessa linha estética e de pensamento, tem com o papel da História na prática arquitetônica é, no mínimo, ambígua. Mesmo que Aldo Rossi tenha ainda alertado ao longo da sua obra para o fato de que não existe cidade sem história, há, aqui e ali, exemplares e exercícios *kitsch* e de *revivals* descontextualizados que se propõem como homenagem, mas que se apresentam muitas vezes como nostalgia gratuita. Paradoxalmente, se soma a essa clara dificuldade da leitura da complexidade dos tempos do ambiente construído o fantasma *corbusiano* da tábula rasa que se apresenta há um século como princípio do que seria um projeto adequado. Manfredo Tafuri (1985, p.19), ao encontro de Mahfuz, também aponta a solução para essa situação com uma atuação conjunta de disciplinas, pois “o estudo da história visa dissolver a nostalgia, não estimulá-la. O seu conhecimento evita o ridículo do anacronismo”.

Essas constatações alertam mais para “como não fazer” do que apresentam um caminho seguro para a *práxis*. Essa dificuldade no reconhecimento das propostas metodológicas aparece frequentemente nos trabalhos de análise de obras de arquitetos. A competente coletânea de Nesbitt (2008), por exemplo, recupera com grande riqueza as discussões arquitetônicas no auge do período pós-moderno, jogando luz também em determinados aspectos formais do modernismo, mas não se pode dizer que há, ali, uma conclusão acerca da metodologia de projeto, mesmo com a apresentação de múltiplas visões do que seria a boa arquitetura.

Parte do desconforto e hesitação propositiva em praticamente todas as discussões teóricas vem justamente do reconhecimento da parcialidade do projetista sobre a sua solução. Christopher Alexander, matemático que se propôs a estudar arquitetura, extrapola esse aparente gargalo ao longo das suas obras, buscando associar a arquitetura à condição de ciência e, portanto, definida por uma série de passos reproduzíveis. Ao longo de *Notes on the Synthesis of Form* (1964), *The Timeless Way of Building* (1979) e *Uma Linguagem de Padrões* (1981), o autor critica o *modus operandi* do projetista, restrito ao que considera um conjunto muito limitante de ferramentas: Sua intuição, suas experiências pessoais, os estilos e a teoria arquitetônica a que teve acesso. A ineficiência do projeto residiria no fato de que a complexidade dos problemas espaciais seria infinitamente maior do que qualquer proposta baseada somente naquelas ferramentas.

A solução, para Alexander, seria encarar o projeto a partir de um problema a ser resolvido metodicamente como um sistema, dividindo-o em dois subgrupos: o ambiente – entendido comumente durante o exercício acadêmico como as condicionantes – e a forma – a



proposta arquitetônica propriamente dita – respondendo da melhor maneira a todas as condicionantes simultaneamente. É uma metodologia intimamente relacionada à busca de padrões de situações a serem reproduzidas. Alexander tem, na sua essência, similaridades à estrutura do formalismo de Hélio Piñon, que propõe a busca pelo que chama de sistematicidade no projeto, buscando sua identidade formal ao longo do processo.

A COMPLEXIDADE PARA ENSINAR E APRENDER A PRÁTICA PROJETUAL

Nessa complexa e lenta busca pelo método arquitetônico se presencia – e se causa – muitas vezes um descolamento entre prática profissional e formação acadêmica. Há de se considerar, igualmente, o entendimento difuso de conceitos-chave do pensamento arquitetônico, como “conceito”, “partido” e “tipologia”, com dificuldades de diferenciação inerentes ao início da formação crítica arquitetônica. Como se vê, são muitos os desafios que compõem o exercício do projeto.

É necessário entender a complexidade do projeto e seu impacto na vida de quem o faz para a partir daí analisar a melhor maneira de ensinar como se dá sua construção, métodos e execução a um aprendiz. O Instituto de Arquitetos do Brasil, a partir de reuniões da Direção Nacional do AIB, elaborou um documento denominado “Anotações sobre Projeto em Arquitetura”, com a finalidade de entender o projeto no sentido mais estrito que esse processo possa ter.

Em “Anotações sobre Projeto em Arquitetura” (IAB, 2013, n.p), caracteriza-se o projeto como um “processo compositivo complexo que tem como cerne a promoção da materialização de um desejo. Ao desenvolver-se, o processo do projeto engloba o entendimento das circunstâncias e das possibilidades em que esse desejo se explicita”. (n.p.).

A INFLUÊNCIA DA PEDAGOGIA NA FORMAÇÃO CRÍTICA E INTELLECTUAL DO APRENDIZ

O documento elaborado pelo Instituto reforça o entendimento de o projeto ser um feito autoral, jogando luz na necessidade de uma capacitação plena do aprendiz para sua execução, não só de repertório metodológico, mas também cultural, contextual, artístico e consciente. Essa complexidade que tange o papel do projetista frente ao seu próprio projeto reforça a dificuldade de definir uma metodologia clara da ação. À vista disso, a autonomia para projetar, como máxima a ser alcançada, não poderia permitir os obstáculos já expostos para o entendimento e processo de aprendizagem. Por conseguinte, a ideia da academia e seus métodos de ensino devem ser consequentemente revisados.



Isto posto, é almejada uma universidade na qual a metodologia empregada não seja de modo a formar um “aluno-objeto”, que recebe verdades prontas e inquestionáveis, onde o aprendiz acaba como um mero observador passivo e o sinônimo de êxito está intrinsecamente vinculado àquele que melhor memoriza e reproduz o que lhe é ditado, e que não necessariamente compreende o conteúdo (LUCKESI, 1997, p.55). Esta se aproxima do conceito da reflexão-na-ação do projetista, ou seja, o entendimento do processo a partir da sua prática, e havendo, portanto, certa autonomia necessária ao estudante para desenvolvê-la.

Evidencia-se ainda outro aspecto que objetivamente se estrutura como impactante no processo de aprendizagem, o ambiente físico. Westphal (2020) destaca a importância do espaço escolar no modo de aprender, comparando a estrutura física de diferentes escolas de arquitetura. Fica claro, de maneira geral, que o processo projetual, obviamente estabelecido a partir do aprendizado por parte do projetista, não é apenas multidisciplinar, mas também multissensorial, impactado pela experiência de projeto assim como pelas vivências, trocas e ambientes percorridos pelo arquiteto até então.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do que foi discutido, entende-se que a própria pretensão de busca por um algoritmo claro e definitivo capaz de entregar projetos eficientes é vã e sem sentido. Há, inerente ao processo projetual, características que podem ser consideradas artesanais, íntimas do próprio projetista. Não que isso o aproxime necessariamente de um artista, uma vez que parece clara a necessidade de conversa constante com o contexto histórico e social da obra a ser definida. O processo do projeto, a reflexão-na-ação, parece, assim, remeter mais a uma conversa entre o seu autor e soluções anteriores, do que um monólogo de pura expressão íntima de quem o propõe.

O que parece igualmente relevante é a necessidade de jogar luzes, ainda na graduação, para as nuances desse processo a quem se propõe a aprendê-lo. A discussão de possíveis metodologias se faz notória na formação não só prática, como também crítica do estudante e futuro profissional. Também é importante salientar a importância de analisar não só os métodos teóricos como também o ambiente de aprendizagem, como ele se configura e os impactos que também causará na aprendizagem e no ensino.

Ressalta-se que a pesquisa da qual o presente trabalho faz parte apresenta-se ainda em andamento, estando configurada ainda na etapa de revisão bibliográfica. Reconhece-se o papel



dessa discussão num tema mais amplo, da educação e de métodos de ensino, sempre em constante e necessária revisão.

REFERÊNCIAS

ABEA. Educação em Arquitetura e Urbanismo à distância não funciona. Brasília, 2017. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0B1yOFSPeROtJNWp5ZENfZmtNQVk/edit>. Acesso em: 6 jun. 2020.

ARGAN, Giulio Carlo. História da arte como história da cidade. São Paulo, Martins Fontes, 1992.

DUARTE, Fábio. Elipse Crítica – Reflexões a partir de Alfredo Tafuri. Vitruvius, Arqtextos 008.01, ano 1, janeiro 2001.

LUCKESI, Cipriano. Fazer Universidade: uma Proposta Metodológica. 1997.

NESBITT, Kate (org.). Uma nova agenda para a arquitetura – Coleção face norte. São Paulo: Cosac & Naify, 2008.

STROETER, João Rodolfo. Arquitetura e teorias. São Paulo: Nobel, 1986.

TAFURI, Manfredo. Projecto e Utopia. Lisboa: Presença, 1985.

WESTPHAL, Eduardo. Onde se formam arquitetos: sobre os espaços de escolas de arquitetura no Brasil. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Florianópolis, 2020.



CAPÍTULO 7

UTILIZAÇÃO DE VÍDEOS NAS AULAS DE QUÍMICA: UMA FERRAMENTA DE ENSINO EM TEMPOS DE PANDEMIA

Raimundo Lima de Lima
Karen Moraes Borges
Edielson dos Santos Barbosa
Marcelo Farias do Espírito Santo
Josiney Farias de Araújo
Fábio Cardoso Borges

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo discutir o ensino de Química no atual contexto de utilização das ferramentas de ensino disponíveis por meio da internet como as vídeo aulas com enfoque na escolha dos vídeos adequados para a utilização no ensino de Química. Assim como o aproveitamento didático que a produção de vídeos pelos alunos pode trazer para a aprendizagem dos mesmos. Nesse sentido, buscou-se dialogar com diversos teóricos que abordam a respeito da didática, utilização de vídeoaulas para o processo do ensino e aprendizagem de Química, planejamento e produção de vídeos pelos alunos. Logo, a utilização desses vídeos educativos para o ensino dos conteúdos das aulas de Química, além da análise das vídeoaulas demonstram situações negativas e positivas em relação ao ambiente ou espaço escolar. E, por fim, demonstrar relatos de experiências por meio da metodologia escolhida para o desenvolvimento deste trabalho que foi caracterizado como uma pesquisa bibliográfica em relação a inserção de vídeos aulas sobre os conteúdos de Química nos ambientes escolares, com levantamento de conteúdo realizado a partir das categorias pré-definidas para os títulos dos artigos. Para isso, utilizou-se as plataformas de pesquisa científica “Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações” e “SciELO”. As discussões abordadas e realizadas neste trabalho a partir desses teóricos possibilitaram esclarecer, por exemplo, situações que por mais que se encontre materiais adequados ao ensino de Química na plataforma YouTube ou sites especializados deve-se considerar que essas possíveis aprendizagens perpassam pela cultura, linguagem e costumes dos alunos. Portanto torna-se essencial ou indispensável a importância do professor estimular os alunos a elaborarem perguntas e mediar o encontro das possíveis respostas; os detalhes didáticos, como a utilização de quadro branco desde que se esteja com roupa escura; os princípios pedagógicos a serem aplicados. Diante dessas disposições, pode-se considerar que o ensino de Química com a utilização e produção de vídeoaulas pode ser efetivo, desde que se percorra de maneira planejada o caminho metodológico, didático e pedagógico.

PALAVRAS-CHAVES: Ensino, vídeos, plataformas.

INTRODUÇÃO

Este trabalho é apresentado a respeito do tema “utilização de vídeos nas aulas de Química: uma ferramenta de ensino em tempos de pandemia”. Assim, tratando-se sobre a necessidade mais evidenciada de ser produzidos conteúdos de ensino em vídeos para mediações pelo professor durante as aulas de Química. Entretanto, são diversos os desafios que o professor



pode enfrentar ao planejar, produzir e utilizar conteúdos em vídeos nas aulas. Diante disso, torna-se indispensável pesquisar mais a respeito das implicações e soluções para se alcançar um efetivo ensino pelo professor e excelente aprendizagem pelo aluno.

Nas palavras de Monteiro (2020, p. 19), “No Brasil contemporâneo, ainda é possível encontrar sem grandes dificuldades escolas da educação básica, que possuem metodologias de ensino ultrapassadas que se baseiam numa aprendizagem mecânica”. Logo, o autor explica que essas metodologias de ensino se baseiam em uma aprendizagem simples e mecanizada na qual o docente ainda transmite ao aluno informações por meio dos processos da memorização de fórmulas, símbolos, conteúdos e outras questões. Desta maneira, sendo caracterizado condições de aprendizagem de modo passivo dos alunos.

Diante desse cenário ou realidade e mais ainda quando o mundo passa na atualidade por uma pandemia, onde os conteúdos de ensino das aulas passaram a ser remotos por meio de plataformas de comunicação online, a produção de vídeos para o ensino se tornou prática bastante exigida no ambiente escolar. Neste sentido, professores tiveram que desenvolver diversas habilidades e técnicas de produção e edição de vídeos para abordarem os mais diversos conteúdos de ensino com os alunos. De acordo com Prata, *et al.*, (2021) os recursos digitais como meios multimídias podem ser utilizadas como ferramentas de ensino para a melhoria da aprendizagem dos alunos.

É nesse sentido que o trabalho se propõe a esclarecer como os fatores da utilização dos vídeos em ambientes escolares podem ser produzidos e utilizados no ensino. Além disso de qual forma pode ser mediada pelo professor na escola conforme citado em (PIRES & REZZADORI, 2019; BARROS, *et al.*, 2020; CHAVES, 2021). Desta maneira, superando a antiga prática de somente transferir o conhecimento na esperança de que o aluno deste modo consiga aprender. Ainda de acordo com Souza, *et al.*, (2021) é fundamental a utilização de recurso interativo que se alinhe com o cotidiano dos alunos para que o processo de ensino e aprendizagem ocorra de uma forma mais eficiente no espaço escolar.

Além do mais, situações de inserção dos vídeos nos espaços escolares podem propiciar ao ensino de Química a possibilidade de demonstrações como por exemplo as atividades experimentais (VALENÇA, *et al.*, 2021). Devido a situação de várias escolas que não permitem a produção de atividades experimentais nos ambientes escolares por causa de condições da ausência de recursos financeiros por parte da escola, espaços adequados para a elaboração de atividades experimentais e outros fatores (ARAÚJO, *et al.*, 2019; PEREIRA, *et al.*, 2019; SOUZA, *et al.*, 2021). Diante de tal



cenário, o uso dos recursos de ensino como os vídeos nas aulas de Química podem ser uma ferramenta ótima para a demonstração e explicação de alguns tópicos químicos. Tal situação se demonstra ainda mais pertinente em virtude da pandemia, porém possui um alto valor de ensino em qualquer contexto (VALENÇA, *et al.*, 2021; SANTOS & CARDOSO, 2021).

Diante disso, o objetivo deste trabalho é analisar a utilização de vídeos nas aulas de Química como ferramentas de ensino em tempos de pandemia. Nesse viés, é necessário verificar o que há disponível em conhecimento didático aplicável a esse objetivo de ensino, assim como se faz necessário pesquisar a respeito dos conteúdos de vídeos utilizados para esse fim. Dessa maneira, pretende-se alcançar como resultado o caminho metodológico efetivo para a utilização de vídeo para o ensino dos conteúdos de Química de forma que esse conhecimento seja mediado e que possibilite aos alunos uma aprendizagem mais significativa.

METODOLOGIA

Este trabalho seguiu a estratégia que consiste em conteúdos referentes as aulas de Química com utilização de vídeos de ensino. Visando à entrega de propostas que tornem o ensino de Química mais efetivo e alinhado com os atuais direcionamentos educacionais presentes nos documentos como a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Além de ministrado com auxílio das estratégias didáticas como o ensino da mediação.

A pesquisa científica apresenta diversas categorias, sendo uma dessas a pesquisa bibliográfica. A pesquisa bibliográfica tem como parâmetros e objetivos os processos de melhoramento e atualização do conhecimento científico (SOUSA, *et al.*, 2021). Além disso, a utilização da pesquisa bibliográfica na educação é bastante relevante devido a possibilidade de acesso ao conhecimento já produzido em relação a determinado assunto com importantes informações científicas (BRITO, *et al.*, 2021).

A pesquisa é caracterizada como bibliográfica, com levantamento de conteúdo realizado com as categorias pré-definidas. Para isso, utilizou-se as plataformas de pesquisa “Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações” e “SciELO”. Assim foram encontrados conteúdos referentes aos temas buscados ao trabalho.

Segundo Neves (1996), uma pesquisa qualitativa descritiva, diferentemente da pesquisa quantitativa busca por uma investigação baseada em hipóteses com relação a determinado assunto ou questão específica. Assim, apresentando-se de uma maneira mais focada e direcionada, não contemplando a mensuração de dados. Além disso, a forma de aquisição das



informações e dados acontece por meio de uma interação direta entre o pesquisador e o seu material de análise ou estudo.

Nesse sentido, o artigo trata sobre a utilização de vídeos experimentais no ensino de Química. Assim, problematizando-se a limitação de tempo que o professor tem para a realização da experimentação, além dos elevados custos que é determinado por cada tipo de experimento que pode ter. Ainda assim, defende-se que a filmagem pode ser repetida muitas vezes sem que haja novos custos. Além de não requerer ambiente próprio para o experimento, nem expor os alunos a riscos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação da utilização de vídeos experimentais no ensino de Química tem se evidenciado tanto na prática docente presencial quanto à distância. Assim, tornando-se urgente que se problematize e desenvolvam técnicas fundamentadas em uma perspectiva de didática mais efetiva e eficaz ao processo de aprendizagem em recursos multimídia. A realização da experimentação é muito desejável, mas nem sempre é praticável, tanto por limitações de tempo em que muitos professores têm carga de trabalho muito extensa e quanto por questão de periculosidade envolvida e falta de locais e equipamentos adequados.

A realização de atividades experimentais em sala aula, com uso de câmera de vídeo, acoplada a projetor multimídia, oferece uma alternativa ao professor no sentido de dinamizar as aulas, dando liberdade de realizar diferentes experimentos usualmente feitos em laboratório (HALFEN, *et al.*, 2020, p. 286).

Halfen, *et al.*, (2020) ainda destacam que os conteúdos práticos de ensino sempre favorecem processos de curiosidade, participação dos alunos e construção do saber. Desta maneira, a utilização de recursos multimídia no ambiente escolar permitem alcançar um elevado número de alunos, situações das práticas de ensino de forma mais segura, menores valores gastos na realização dessas atividades de ensino e outros fatores. Neste sentido do uso de recursos multimídia, Paradella, *et al.*, (2020), também relatam que os vídeos podem ser utilizado como estratégia de ensino aos alunos por ser uma ferramenta didática potente ao desenvolvimento em processos de ensino e aprendizagem dos alunos.

Além disso, é cada vez mais evidente que uma plataforma muito usada para veiculação de vídeos é o “YouTube”. Onde professores buscam conteúdos que possam ser utilizados como recursos de ensino. Assim também como os alunos procuram os conteúdos para pesquisa e estudo. Deste modo, os estudos de Portugal, *et al.*, (2018) abordam a plataforma do YouTube, em especial os canais de conteúdo científico, como plataforma de estudos por parte dos usuários.



Durante os estudos, foram entrevistados produtores de vídeos educacionais, para buscar compreender os motivos por que criam esses materiais, sendo obtido as respostas:

Nas falas dos entrevistados, algumas ideias sobre como eles entender o YouTube como um local para o aprendizado de ciências. As quatro categorias relevantes para a investigação emergiram das falas são Interesse, Aspectos do ensino no YouTube, Comunidade e Fonte de Informações (PORTUGAL, *et al.*, 2018, p. 190).

De acordo com o estudo, os conteudistas enfocam os assuntos mais procurados e mais complexos para serem explicados e entendidos com apenas assuntos em quadro e livro. No entanto, deve se ter cautela na escolha e uso desses conteúdos, sendo essencial que os conteúdos estejam alinhados com as fundamentações teóricas por meio de abordagem pedagógica adequada. Pois, algumas vezes, eles não se mostram totalmente adequados para uso em sala de aula, por não terem uma fundamentação teórica e pedagógica apropriada. Tal fato se torna mais preocupante quando nos damos conta de que os estudantes acessam diversos vídeos disponibilizados por conta própria, sem ter o conhecimento adequado para julgar se eles transmitem seus conteúdos de forma bem fundamentada (ASSIS, 2013).

No entanto, pode-se resolver essa dificuldade por meio da mediação do professor ao tratar sobre critérios de escolha de conteúdos em vídeos do YouTube como ferramenta para pesquisa. É necessário também que mais trabalhos de pesquisa enfoquem o assunto para que conteúdos no YouTube sejam aproveitados no ensino de Química e não descartar essa plataforma por conteúdos inadequados que possa haver nela, pois:

(...) é notória a falta de programas de pesquisa que se debruçam sobre o papel dessas mídias e sua contribuição para a aprendizagem, e, mais ainda, a forma como estudantes constroem conhecimento em disciplinas relacionadas às ciências naturais quando há mediação por materiais audiovisuais, objeto de estudo desta pesquisa (SILVA, *et al.*, 2017, p. 39).

Diante dessa ausência de estudos, torna-se cada vez mais urgente a abordagem da utilização de vídeos no YouTube como estratégia de ensino na área da Química. Uma vez que o estímulo visual já se demonstra muito eficaz no processo da aprendizagem e ainda a plataforma em evidência já é bastante conhecida dos jovens na atualidade. Nesse sentido, Silva, *et al.*, (2017, p. 46) destacam que:

A visualização de vídeos ocorre de maneira natural, por ser um hábito dessa geração conectada. O interesse pelo tema trabalhado em aula pode ser estimulado por meio de outros vídeos disponíveis para acesso no endereço pesquisado, como o que acontece no YouTube que possui canais direcionados com conteúdos específicos. (SILVA, *et al.*, 2017, p. 46)

Os autores indicam que os conteúdos abordados em sala de aula podem ser reforçados com os conteúdos em vídeo propostos pelo professor, por nomes dos canais e títulos de vídeos na plataforma YouTube. Além disso, os autores lembram que há sites especializados que



também produzem seus próprios conteúdos e concomitantemente podem ser utilizados para o ensino de ciências, pois:

A utilização de recursos virtuais disponíveis gratuitamente na Internet pode ser, então, uma alternativa para apoiar a formação no ensino de ciências em geral. Há grande diversidade de jogos educacionais, simuladores, laboratórios virtuais, vídeos experimentais, dentre outros tipos de recursos didáticos que têm o intuito de colaborar como objetovirtual de aprendizagem (ROCHA *et al.*, 2019, p. 31).

Todas essas possibilidades de ensino, todavia, perpassam por fatores de cultura, linguagem e costumes que estão presentes no cotidiano dos alunos. Como um exemplo disso, temos disponíveis os estudos do autor Rosa que problematizam esses aspectos e indicam que devem ser cuidadosamente observados. Pois, se a linguagem audiovisual é realidade codificada, deve estar inserida em um contexto que os alunos compreendam claramente. Este autor ainda adverte para a situação na qual:

Quando se usa imagem e som na sala de aula, um processo semelhante ocorre. Todo filme, slide, transparência, programa multimídia, etc. traz embutido, dentro de si, um processo de codificação definido pelo(s) autor(es) do produto audiovisual. Um filme, como um livro, deve passar por um processo de decodificação por parte de quem o vê. Esse processo deve ser apreendido tanto no que diz respeito às ações mecânicas necessárias para a sua compreensão (coordenação visual, p. ex.) como no que diz respeito à matriz cultural, em função da qual o produto existe e deve ser interpretado (ROSA, 2000, p. 35).

Diante desses ambientes ou cenários de ensino e aprendizagem dos alunos, torna-se indispensável considerar as condições que os alunos não tenham ou detenham para entender a respeito de conteúdos dos vídeos. O pesquisador ainda destaca, por exemplo, uma iniciativa da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS) que utilizou vídeos para educação de indígenas. O autor afirma que a inconsistência com a cultura foi bastante evidente, pois os indígenas não sabiam assistir aos vídeos.

Há alguns anos, dentro de um dos projetos de educação de indígenas no Mato Grosso do Sul, pesquisadores da UFMS tentaram, sem sucesso, o uso de um vídeo. Ao pesquisarem as razões do insucesso, descobriram que os índios não sabiam olhar televisão. Explico: para que tenhamos uma idéia geral (panorâmica ou global) do que se passa na tela da televisão, devemos focar o nosso olhar a uma certa distância da tela, mais ou menos 1 metro. Como os índios não tinham o hábito de olhar televisão eles não coordenavam o olhar de forma apropriada. Como resultado, eles apenas apreendiam detalhes da imagem não a apreendendo na sua totalidade (ROSA, 2000, p. 35).

Este é somente um dos casos de que o cuidado com a realidade dos alunos deve ser levado em consideração na escolha dos conteúdos em vídeo ao ensino. O problema dos vídeos com os indígenas serve para que o educador realize sempre o levantamento sobre as condições de linguagem e cultura dos alunos, seja na área urbana central, periferia, rural e outras localidades. “O Professor deve ter em mente, quando utiliza recursos audiovisuais, qual é a



matriz cultural a partir da qual foi construída a obra que vai ser exibida, qual é a sua própria matriz cultural e o modo como estas duas matrizes se relacionam” (ROSA, 2000, p. 36).

Campos, *et al.*, (2019), ainda citam a importância da realização de reflexão crítica quanto à função do vídeo no contexto da educação quanto aos resultados a serem alcançados e, para isso, focar nas estratégias pedagógicas. Os autores ainda advertem a respeito do cuidado na qual essa ferramenta de ensino não ser utilizada apenas e simplesmente como reprodução ou entretenimento. Logo, a inserção de vídeos como estratégia de ensino são ferramentas didáticas cada vez mais escolhida por professores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estes estudos são relevantes em Química por possibilitar ao professor em formação o entendimento sobre os processos de ensino e aprendizagem referentes aos conteúdos em Química. Diante disso, foi levantado o problema de ainda haver no ensino de Química metodologias ultrapassadas que prejudicam o entendimento do aluno e mantêm o ensino e aprendizagem de Química com estereótipo de disciplina difícil e inacessível. Nesse sentido, cabe ao professor indicar quais vídeos ou canais estão mais alinhados com as necessidades de segurança e cujos conteúdos tragam proveitos para a aprendizagem do aluno.

Da mesma forma, cabe direcionamentos a respeito do foco do que se queira ensinar, para que o aluno atente para o que é importante aprender dos conteúdos que vão enriquecer seu conhecimento. Considerando-se também que o planejamento das aulas ou proposta de elaboração dos vídeos em Química parece fundamental para o bom aproveitamento das aulas. Além de sucesso das experiências dos alunos como editores de vídeos baseados nos conteúdos aprendidos, o que os estimula a desenvolver outras habilidades no contexto do ensino de Química, levando-lhes a olhar a Química por situações de mais perspectivas e possibilidades de ensino e aprendizagem.

Ainda com relação a advertência sobre os perigos de certos conteúdos é responsabilidade que o professor deve ter em evidência. Pois, pode evitar danos à saúde de seus alunos. Cabe à prática de pesquisa contínua do professor tanto o que ele deve direcionar quanto o que deve evitar que os alunos acessem sem o devido preparo técnico e manuseio adequado. Considere-se, por fim, que a utilização de vídeos nas aulas de Química é promissora, principalmente num contexto de restrição de aulas presenciais onde os conteúdos em vídeos nas diversas plataformas são trabalhados como alternativa de aulas para que os alunos não sejam privados da aprendizagem.



REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. F.; DEUS, S. C. S. R.; NERO, J. D.; SILVA JÚNIOR, C. A. B. Projeto Mundiar: aulas de Física por meio simples. **Revista Iluminart**, v. 17, p. 68-79, 2019.

ASSIS, K. K. A articulação entre o ensino de ciências e as TIC: uma análise de materiais didáticos digitais produzidos por professores. 2013. 186 f. Dissertação (mestrado) - Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2013.

BARROS, I. C. L.; NASCIMENTO, L. A.; SANTOS NETO, S. M.; SILVA NETO, J. P.; CAMPOS, Â. F. Produção de Vídeos como Proposta de Abordagem das Normas de Segurança e Atividades Experimentais na Formação Inicial em Química. **Revista Debates Em Ensino De Química**, v. 6, p. 83-102, 2020.

BRITO, A. P. G.; OLIVEIRA, G. S.; SILVA, B. A. A IMPORTÂNCIA DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA NO DESENVOLVIMENTO DE PESQUISAS QUALITATIVAS NA ÁREA DE EDUCAÇÃO. **Cadernos da Fucamp**, v. 20, p.1-15, 2021.

CAMPOS, R. M.; MARTINHOM, P. T.; SOUSA, C.; SOUZA, E. T.; ROCHA, A. S. Uso de filmes no ensino de radioatividade: uma estratégia motivadora para aulas do nível médio. **Scientia Naturalis**, v. 1, p. 193-208, 2019.

CHAVES, J. A. P. Produção de vídeo aulas para o ensino da química. **Brazilian Journal of Development**, v.7, p. 17549-17558, 2021.

HALFEN, R. A. P.; MERLON, A. A. RAUPP, D. T.; NACHTIGALL, S. M. B. Experimentos químicos em sala de aula utilizando recursos multimídia: uma proposta de aulas demonstrativas para o ensino de Química Orgânica. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 19, p. 270-294, 2020.

MONTEIRO, M. F. Planejamento e produção de vídeos como ferramenta didática no ensino de química experimental. João pessoa: 2020.

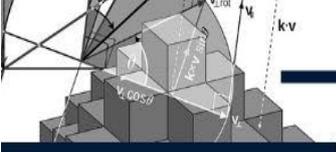
NEVES, J. L. Pesquisa Qualitativa - Características, Usos e Possibilidades. **Caderno de Pesquisas em Administrações**, v.1, p. 1-5, 1996.

PARADELLA, A. M.; SANTOS, B. L.; PINTO, D. S.; PINESE, J. S. O uso do vídeo como método de ensino e recurso didático. **Rev. Inova Educ**, n.6, p. 1-17, 2020.

PEREIRA, J. R.; MOTA, G. V. S.; NERO, J. D.; SILVA JÚNIOR, C. A. B. Ensinando Ciências Físicas com Experimentos Simples no 5º ano do Ensino Fundamental da Educação Básica. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 12, p. 175-197, 2018.

PIRES, R. C.; REZZADORI, C. B. D. B. Uma experiência de produção de videoaula experimental em aulas de Química. **ReBECCEM**, v. 3, p. 92-108, 2019.

PORTUGAL, K. O.; ARRUDA, S. M.; E MARINEZ, M. P. (2018). Free-choice teaching: how YouTube presents a new kind of teacher. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 17, p. 183-199, 2020.



PRATA, E. G.; SOUSA, R. F.; ARAÚJO, J. F.; CORREIA, L. M.; DEUS, S. C. S. R. PLATAFORMAS DIGITAIS E O ENSINO EM TEMPOS DE PANDEMIA PELO OLHAR DA DOCÊNCIA. In: Ernane Rosa Martins. (Org.). TECNOLOGIAS EDUCACIONAIS Ensino e Aprendizagem em Diferentes Contextos. 1ed. Guarujá: Editora Científica, 2020, v. 1, p. 201-214.

ROCHA, G. C. F. S.; MARTINS, B. M.; COSTA, R. L. Vídeos Experimentais: Uma Alternativa para o Déficit de Laboratórios de Ensino de Química em Escolas Públicas. **Revista UNICAMP - tecnologias, sociedade e conhecimento**, v. 6, p, 25-41, 2019.

ROSA, P. R. S. O USO DOS RECURSOS AUDIOVISUAIS E O ENSINO DE CIÊNCIAS. **Cad. Cat. Ens. Fís.**, v. 17, p. 33-49, 2000.

SANTOS, H. F.; CARDOSO, I. L. N. Tecnologia e cultura no ensino de química: um enfoque multidisciplinar sobre o uso de vídeos em sala de aula. **Brazilian Journal of Development**, v.7, p. 12454-12474, 2021.

SILVA. M. J.; PEREIRA, M. V.; ARROIO, A. O papel do youtube no ensino de ciências para estudantes do ensino médio. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, v. 7, p. 35-55, 2017.

SOUSA, A. S.; OLIVEIRA, G. S.; ALVES, L. H. A PESQUISA BIBLIOGRÁFICA: PRINCÍPIOS E FUNDAMENTOS. **Cadernos da Fucamp**, v. 20, p.64-83, 2021.

SOUZA, A. C.; ARAÚJO, J. F.; BARBOSA, M. P.; SILVA JÚNIOR, C. A. B. ATIVIDADE EXPERIMENTAL INVESTIGATIVA E E-BOOK NO ENSINO DE CIÊNCIAS DO ENSINO FUNDAMENTAL: UMA EXPERIÊNCIA DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO. **ReBECCEM**, v. 5, p. 402-422, 2021.

VALENÇA, B. A.; WEBER, C.; KRUPCZAK, C.; AIRES, J. A. Uma análise de vídeos para o ensino de Química. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 20, p. 245-266, 2021.



CAPÍTULO 8

ENSINO DE MATEMÁTICA PARA O COTIDIANO

Samuel Dos Santos
Luciana De Aguiar Belizio
Leonice Aparecida De Fátima Alves Pereira Mourad

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo geral: “analisar conceitos e teorias que tratam sobre o ensino de matemática para o dia a dia do aluno, suas principais aplicações”, visto que a aprendizagem da matemática implica em alguns conhecimentos, que se não forem respeitados a criança acaba apresentando algumas dificuldades de aprendizagem. Recorreu-se à pesquisa bibliográfica, visando à construção de uma pesquisa teórica com o intuito de recolher informações prévias sobre o campo de interesse. O artigo encontra-se organizado em sessões, sendo a primeira a introdução com apresentação do artigo, depois o desenvolvimento com a discussão teórica sobre o ensino de matemática, posteriormente o capítulo da metodologia explicando os procedimentos metodológicos da pesquisa e as considerações finais com a exposição e conclusão sobre o que foi proposto na pesquisa.

PALAVRAS-CHAVE: método de ensino; ensino de matemática e matemática no cotidiano.

INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como temática o ensino de matemática para o cotidiano, teve como objetivo analisar conceitos e teorias que tratam sobre o ensino de matemática para o dia a dia do aluno, e suas principais aplicações. Essa proposta de pesquisar de investigação bibliográfica se faz importante para o ensino de matemática quando o professor precisa pensar em metodologias mais palpáveis para a criança e que ela possa visualizar na sua realidade a utilidade da matemática. Essa análise bibliográfica pode auxiliar professores que recém então começando a carreira da docência e esclarecer as necessidades que o aluno apresenta em sala de aula com base no referencial teórico estudado e apresentado.

A matemática para a criança tem que ser algo sério e ela precisa visualizar sua função e necessidade na sua realidade. A matemática tem alguns elementos introdutórios que se não se fizerem presentes implicam em algumas dificuldades de aprendizagem. Nesse contexto, a aula de matemática com assuntos do cotidiano pode disponibilizar os passos para criança aprender matemática de forma mais fácil e consciente. Quando a criança vai aprendendo os números e as funções numéricas sem que consiga identificar o fundamento da aprendizagem, portanto sem compreender muito bem, às vezes não avançam e perdem o interesse.



A matemática está inserida no dia a dia das pessoas, como por exemplo, ao ler propagandas de produtos parcelados no comércio. Já os números negativos são utilizados para representar as temperaturas negativas e caracteriza um frio muito intenso, sinal negativo (-) indica que ele está baixo de zero. Outro exemplo muito presente no cotidiano é o uso do dinheiro, por apresenta-se por meio de números decimais. Logo, o conteúdo de matemática possui grande importância na educação básica.

Todos esses exemplos listados acima servem de base para justificar como a matemática está presente no dia a dia das pessoas e a importância em aprendê-la. Desta forma, no momento do ensino de matemática é essencial que seja vinculado a vivência prática do estudante, para que possa compreender e assimilar o conteúdo e assim se apropriar do conhecimento que será usado na sua vida e no seu cotidiano.

ENSINO DE MATEMÁTICA

A matemática na forma tradicional veio por meio do primeiro grupo de educação matemática de diferentes países do mundo discutindo as coisas relativas à educação matemática, movimento esse, que motivou a matemática moderna por meio da linguagem de conjuntos para trabalhar os princípios da lógica matemática.

A Matemática é muitas vezes uma disciplina ministrada basicamente mediante a exposição de conceitos, leis e fórmulas, de maneira desarticulada, sem um significado real para os alunos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, deixando o aluno perdido num “mar” de informações, que para ele não tem significado algum, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos e exaustivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela mecanização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das aptidões adquiridas. (CERCONI; MARTINS, 2014, p. 2-3)

Nos estudos e nas pesquisas sobre a matemática, a mesma passa a ter materiais apropriados na educação matemática que influenciou as reformas que ocorreram na didática da matemática, eventualmente, para aquisição de competências básicas necessárias ao cidadão para preparação do conhecimento para a resolução de problemas da Matemática, a partir, dos problemas dentro do cotidiano.

Isso demonstrou uma preocupação em proporcionar aos estudantes a compreensão da importância do uso da tecnologia e a sua permanente renovação no ensino da matemática. Conforme os Parâmetros Nacionais Curriculares (Brasil, 1997) informa que o movimento da Matemática Moderna teve seu refluxo a partir da constatação da inadequação de alguns de seus princípios e das distorções ocorridas na sua implantação. Esses pontos passaram a fazer parte da preocupação dos professores de matemática nas séries iniciais do ensino fundamental para



concretizar alternativas de métodos para a resolução tecnologia e aplicação dos conteúdos matemático referente ao meio social e cultural do aluno. Shulman (1987) diz que o conhecimento requer não só a compreensão das formas como estão organizados os conceitos e os princípios básicos da disciplina, como também o domínio do conjunto de maneiras mediante as quais a validade das produções é estabelecida no referido campo do conhecimento.

Desta forma, o ensino de matemática nas escolas e nas instituições de educação está inserindo um método pedagógico com foco na aprendizagem, sendo necessário conhecer o pensamento das crianças para inserir o conceito da matemática e suas características e contextualização no dia a dia do aluno. A contextualização, no entanto, não pode ser banalizada, para que não se perca a essência da aprendizagem escolar, que é o caráter sistemático, consciente e deliberado (AMORIM, 2009). Nesse sentido:

[...] a matemática é uma matéria escolar, porém no que tange as crianças é também uma parte importante das suas vidas cotidianas: sem matemática elas ficarão desconfortáveis não apenas na escola, mas em grande parte de suas atividades cotidianas: quando partilham bem com seus amigos, planejam suas mesadas, discutem sobre velocidades e distâncias, viajam e têm que lidar com moedas diferentes e quando finalmente têm que lidar com o mundo do dinheiro [...]. (NUNES; BRYANT, 2002, p. 17):

Conforme Nunes e Bryant (1997) pensar na contextualização do ensino em matemática vem ao encontro dos eixos norteadores do currículo educacional, de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais - PCN (BRASIL, 1999), quando ressalta que a importância de se trabalhar o contexto para ensinar matemática vem da utilização do contexto social e cultural dos alunos. Pensar que a criança possui contato com o universo numérico desde bebe expõe a necessidade de se trabalhar por meio de fases de desenvolvimento para a criança apreender o conteúdo de matemática por etapas, á porque muitas vezes, ensinamento dela responde uma coisa e a do professor pode ser um pensamento equivocado de raciocínio. Um cenário para investigação é aquele que convida os alunos a formular questões e procurar explicações (SKOVSMOSE, 2000, p. 6).

Ao analisar o raciocínio lógico matemático da criança não está totalmente errado, e deve ser valorizado esse início, já que o processo matemática vai além do resultado esperado como resposta certa. Sabe-se que o processo matemático de ensino em relação à atividade não se utiliza mais da concepção tradicional de repetição e decoreba, e sim, de compreensão e interpretação do que está sendo ensinado e aprendido no cotidiano.

[...] um conhecimento fragmentário que se manifesta segundo uma lógica conceitual que é própria às exigências de toda a vida cotidiana. Trata-se de uma lógica conceitual adequada aos objetivos práticos utilitários e que responde eficazmente às necessidades do cotidiano (GIARDINETTO, 1999, p. 6).



Logo, o campo das experiências e tempo de qualidade nas relações e transformações das atividades no ensino de matemática entre o professor e o estudante estimula o interesse e conhecer pelos conceitos básicos da matemática, que norteiam a aprendizagem. O letramento matemático vai além do conceito, e sim o senso numérico, conceito sistema de numeração decimal fundamental para ensinar cálculos, conhecer como montar um ambiente que estimule a aprendizagem da matemática. Isso tudo se torna essencial para colocar a matemática na prática por meio de boas intervenções metodológicas, porque a matemática não é só cálculo. Quando se conhece os fundamentos básicos promovemos um bom raciocínio lógico para a vida dos estudantes, pois muitos deles possuem a visão da matemática como sendo:

A disciplina da Matemática tem às vezes uma conotação negativa que influencia os alunos, alterando mesmo o seu percurso escolar. Eles sentem dificuldades na aprendizagem da Matemática e muitas vezes são reprovados nesta disciplina, ou então, mesmo que aprovados, sentem dificuldades em utilizar o conhecimento “adquirido”, em síntese, não conseguem efetivamente terem a cesso a esse saber de fundamental importância. A dificuldade na aprendizagem da Matemática provoca fortes sentimentos de aprovação ou de rejeição nos alunos. Alguns alunos, devido a um passado de insucessos em Matemática, acreditam que não são capazes, o que os levou a construir baixa autoestima (SANTOS; FRANÇA, 2007, p. 9).

O curso de licenciatura em Matemática possibilita a formação de novos professores, implica em compreender sua metodologia, didática e a maneira que planejar as aulas são passos mais importantes para diferenciar um bom professor de um professor ruim. A matemática já carrega um estigma de ser muito difícil, de sorte que se o professor não se empenhar para mostrar que a matemática não é um ‘bicho de sete cabeças’, muitos estudantes e pais manterão essa perspectiva. Logo, esse artigo objetiva vincular a importância da matemática do dia a dia com uma metodologia que use o universo diário das pessoas, desde os pais aos filhos. Porque muitas vezes os pais não possuem um bom repertório para ensinar matemática, só que no dia a dia utilizam-se da matemática sem perceber.

O professor de matemática tem o paradigma tradicional enraizado no imaginário popular da forma de se ensinar matemática. No entanto, discurso educativo apresenta sobre as necessidades e dificuldades dos alunos pra aprender e pensar na matemática. Repensar uma metodologia de ensino que tenha como pressuposto humanização do sujeito, implica pensar a prática educativa de maneira menos fragmentada (por disciplina), garantindo a integração e a significação dos saberes a partir da formação inicial do educando.

A Licenciatura forma profissionais que podem atuar como professores da matéria no ensino médio e no fundamental. Apresenta matérias relacionadas à educação, como Pedagogia e Didática. Os professores são capazes de: estabelecer relações entre as disciplinas e outras



áreas do conhecimento; resolver, reformular e identificar problemas; usar e compreender tecnologias para a resolução de problemas. Machado (2002) ressalta que a escola deve lançar desafios à abertura ao diálogo entre diferentes saberes – científico social e escolar. Para tanto, a apreensão e análise de diversas linguagens, de tecnologia e de inúmeras reflexões de ordem histórica são metas relacionadas à construção do conhecimento no processo escolar nesse início de século.

O ensino da matemática pode ser uma experiência qualitativa entre as relações de diversos saberes, pois quando pegamos exemplos externos da sala de aula e inserimos a realidade do aluno no processo de aprendizagem ele consegue compreender o papel investigativo que ele possui ao aprender e estudar matemática e associa as ideias conteúdos e informações de forma reflexiva, chegando ao conhecimento matemático. Machado (2002) põe em evidência que, quando conhecemos algo, damos significados a ele. Segundo o autor, o conhecer pode ser ampliado em um contexto de “ir além”.

A fim de determinar o significado de uma concepção intelectual, dever-se-ia considerar quais consequências práticas poderiam concebivelmente resultar, necessariamente, da verdade dessa concepção; e a soma destas consequências constituirá todo o significado da concepção (PEIRCE, 2003, p.195).

Assim, a vertente do ensino e aprendizagem, passa pelas representações por meio de desenhos e imagens que expressaram as percepções dos participantes, durante a investigação do fenômeno, nos asseguraram recursos metodológicos e analíticos para a compreensão do conteúdo. Sentir, perceber e compreender ao contexto experiencial relacionado com o conteúdo matemático promove que se torne mais concreto advindo dos contatos e promove um estudo com alto crescimento da lógica matemática com a realidade.

É necessário mostrar ao estudante que a matemática está inserida na sua vida que quase todas as ações no seu dia a dia têm uma teoria matemática inserida na ação, por exemplo: quando vai ao mercado ou vai há padaria ou come uma pizza. O papel do professor é mostrar ao estudante como a matemática está inserida na sua vida, que as ações do seu dia ou cidade ou sociedade utiliza a matemática. O método que o professor pode utilizar para ensinar a matemática no dia a dia do ESTUDANTE. De acordo com Pires e Gomes:

Se pretendemos tornar a Matemática útil e prazerosa, acreditamos que a resolução de problemas, uma das tendências da educação matemática, é um excelente caminho para alcançarmos esse objetivo. A resolução de problemas deve ser o ponto de atenção do professor de Matemática e os problemas devem ser o ponto chave para o desenvolvimento dos conteúdos curriculares. (PIRES; GOMES, 2010, p. 15):



O espaço escolar para a educação de matemática pode auxiliar no desenvolvimento intelectual da criança e também na área social, porque, se a criança tem a capacidade de imaginar, fantasiar e criar, isso permite a compreensão do mundo no qual está pertencendo e motiva uma perspectiva para aprender matemática, além de trazer um sentido para sua própria história e a forma que se expressa por meio da simulação de situações e ações que possui conteúdos de matemática. Por isso, as crianças devem ser vistas como seres pensantes, sujeitos sociais que possuem opiniões próprias e capazes de definir suas ideias.

Logo, muitos pais não percebem isso, ou até educadores, trazendo a importância de conversar sobre essa temática e estimular o convívio das crianças com metodologias e conteúdos que estimulem o ensino de matemática e orientar esse desenvolvimento para formação lógica e social da criança.

MATEMÁTICA NA BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR-BNCC

Conforme na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB, Lei nº 9.394/1996), a BNCC (2018) deve orientar os currículos, como também as propostas pedagógicas de todas as escolas públicas e privadas de Educação Infantil, Ensino Fundamental e Ensino Médio, em todo o Brasil. A Base estabelece conhecimentos, competências e habilidades que se espera que todos os estudantes desenvolvam ao longo da escolaridade básica.

O conhecimento matemático é necessário para todos os alunos da Educação Básica, seja por sua grande aplicação na sociedade contemporânea, seja pelas suas potencialidades na formação de cidadãos críticos, cientes de suas responsabilidades sociais. (BNCC, 2018, p. 265).

A área da matemática na BNCC (2018) traz a componente curricular matemática a partir das unidades temáticas, os objetos de conhecimento e as habilidades que o professor tem que trabalhar em cada ano. O letramento matemático além dos processos matemáticos que o professor pode escolher para propiciar experiências matemáticas, só que antes de tudo, o professor precisa explicar a importância da matemática, afinal, ela está em todos os lugares. Precisa-se da matemática para calcular, estimar, ordenar, medir.

No Ensino Fundamental, essa área, por meio da articulação de seus diversos campos – Aritmética, Álgebra, Geometria, Estatística e Probabilidade –, precisa garantir que os alunos relacionem observações empíricas do mundo real a representações (tabelas, figuras e esquemas) e associem essas representações a uma atividade matemática (conceitos e propriedades), fazendo induções e conjecturas. Assim, espera-se que eles desenvolvam a capacidade de identificar oportunidades de utilização da matemática para resolver problemas, aplicando conceitos, procedimentos e resultados para obter soluções e interpretá-las segundo os contextos das situações. A dedução de algumas propriedades e a verificação de conjecturas, a partir de outras, podem ser estimuladas, sobretudo ao final do Ensino Fundamental (BNCC, 2018, p. 265).



Destacamos que o exercício da cidadania matemática na BNCC (2018) é na mesma época da alfabetização da criança na matemática e na língua portuguesa. Assim, o uso social da matemática de raciocinar, de argumentar guarda relação com o problema de elaborar e de aplicar a matemática. A ação humana na matemática vem da prática de investigação e de criação a partir de cálculos matemáticos de interpretação. A parte da habilidade de usar e saber utilizar todos os procedimentos para o ensino de matemática é no ensino fundamental, como destacado na BNCC os campos que devem ser trabalhados no ensino fundamental:

1. Reconhecer que a Matemática é uma ciência humana, fruto das necessidades e preocupações de diferentes culturas, em diferentes momentos históricos, e é uma ciência viva, que contribui para solucionar problemas científicos e tecnológicos e para alicerçar descobertas e construções, inclusive com impactos no mundo do trabalho.
2. Desenvolver o raciocínio lógico, o espírito de investigação e a capacidade de produzir argumentos convincentes, recorrendo aos conhecimentos matemáticos para compreender e atuar no mundo.
3. Compreender as relações entre conceitos e procedimentos dos diferentes campos da Matemática (Aritmética, Álgebra, Geometria, Estatística e Probabilidade) e de outras áreas do conhecimento, sentindo segurança quanto à própria capacidade de construir e aplicar conhecimentos matemáticos, desenvolvendo a autoestima e a perseverança na busca de soluções.
4. Fazer observações sistemáticas de aspectos quantitativos e qualitativos presentes nas práticas sociais e culturais, de modo a investigar, organizar, representar e comunicar informações relevantes, para interpretá-las e avaliá-las crítica e eticamente, produzindo argumentos convincentes.
5. Utilizar processos e ferramentas matemáticas, inclusive tecnologias digitais disponíveis, para modelar e resolver problemas cotidianos, sociais e de outras áreas de conhecimento, validando estratégias e resultados.
6. Enfrentar situações-problema em múltiplos contextos, incluindo-se situações imaginadas, não diretamente relacionadas com o aspecto prático-utilitário, expressar suas respostas e sintetizar conclusões, utilizando diferentes registros e linguagens (gráficos, tabelas, esquemas, além de texto escrito na língua materna e outras linguagens para descrever algoritmos, como fluxogramas, e dados).
7. Desenvolver e/ou discutir projetos que abordem, sobretudo, questões de urgência social, com base em princípios éticos, democráticos, sustentáveis e solidários, valorizando a diversidade de opiniões de indivíduos e de grupos sociais, sem preconceitos de qualquer natureza.
8. Interagir com seus pares de forma cooperativa, trabalhando coletivamente no planejamento e desenvolvimento de pesquisas para responder a questionamentos e na busca de soluções para problemas, de modo a identificar aspectos consensuais ou não na discussão de uma determinada questão, respeitando o modo de pensar dos colegas e aprendendo com eles. (BNCC, 2018, p.267)

Assim, a alfabetização matemática pode ser considerada como um conjunto de competências que permite que o estudante se envolva com o processo de construção de modelos matemáticos, preocupando-se com os resultados na sociedade fora da escola, compreendendo e interpretando a linguagem matemática presente nas mais diversas dimensões sociais, entendendo e questionando os algoritmos usados em seu contexto (STEEN, 2001). Logo o professor:

[...] tem um papel determinante na mudança e na inovação do processo educativo daí que, no exercício da sua profissão, deva considerar a importância de ser educador e sentir a responsabilidade do sucesso do aluno na aprendizagem da disciplina. Ensinar é fazer pensar, estimular o aluno para a identificação e resolução de um problema e



acima de tudo ensinar é uma arte, que deve ajudar o indivíduo a criar novos hábitos de pensamentos e ações (RAMOS, 2017, p. 6).

Por isso, pensar na metodologia no ensino de matemática para o cotidiano do estudante se torna primordial para o ensino hoje em dia. Desta forma, é necessário mostrar ao discente que a matemática está inserida na sua vida que quase todas as ações no seu dia a dia têm uma teoria matemática inserida na ação. O papel do professor existe para mostrar ao estudante como a matemática está inserida na sua vida, que as ações do seu dia ou cidade ou sociedade utiliza a matemática. Assim o método que o professor se utiliza para ensinar a matemática no dia a dia do estudante permite a compreensão do mundo no qual está inserido e motiva uma perspectiva para aprender matemática, além de trazer um sentido para aprendizagem do aluno no componente de matemática.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir que a matemática está presente no dia a dia de todas as pessoas, porém nem todas as pessoas se sentem atraídas por ela. Isso é o resultado da formação pedagógica na área da matemática, já que a compreensão e o interesse pelas coisas são despertados na primeira infância e se aprimora no fundamental.

A lacuna para despertar o interesse e entendimento desta ciência que é presente diariamente na vida de todos, deve ser estimulada através do letramento matemático nos anos do ensino fundamental. Hoje, muito se discute a metodologia e formas de ensinar por meio do cotidiano, mas até bem pouco tempo, a tradição do ensino era referida apenas em decorar formulas, sendo que os professores utilizavam tão somente o livro didático. Os pais de muitos dos nossos estudantes foram escolarizados com base nesse método, o que resultou, para grande parte deles, em um estigma que a matemática é uma ciência complexa e difícil, comprometendo também a aprendizagem de outros componentes que se utilizam dela como a física e até mesmo a química.

Por isso, pensar na metodologia no ensino de matemática para o cotidiano do estudante se torna primordial para o ensino hoje em dia. O estudante precisa compreender que a matemática faz parte da sua vida e que ela está implícita em pequenas ações como dividir um sanduiche com o colega até a negociação da mesada com os pais. Desta forma, é necessário mostrar que a matemática está inserida na sua vida que quase todas as ações no seu dia a dia têm uma teoria matemática inserida na ação.

O papel do professor existe para mostrar como a matemática está inserida na vida, que as ações do seu dia ou cidade ou sociedade utiliza a matemática. O método que o professor se



utiliza para ensinar a matemática no dia a dia permite a compreensão do mundo no qual está pertencendo e motiva uma perspectiva para aprender matemática, além de trazer um sentido para aprendizagem.

A forma que o estudante se expressa por meio da simulação de situações e ações promove o pensamento lógico e raciocínio para a matemática de forma prazerosa, já que a matemática não é apenas números, e sim, uma experiência qualitativa entre as relações de diversos saberes, pois quando pegamos exemplos externos da sala de aula e inserimos a realidade do estudante no processo de aprendizagem, de sorte que ele consegue compreender o papel investigativo que ele possui ao aprender e estudar matemática e associa as ideias conteúdos e informações de forma reflexiva, chegando ao conhecimento matemático.

A última demanda do ensino de matemática, a partir de 2020 foi se adaptar ao ensino remoto sendo que muitas dúvidas surgiram, com especial destaque a como se utilizar de mecanismos digitais para ensinar matemática. Pensar em um canal do youtube¹, um podcast² e ferramentas digitais que mostrem a importância da matemática na vida diária pode ser uma ferramenta atrativa para o educador que está aberto a novos canais de comunicação. Logo, o interesse tem que passar pelo educador e se adaptar para a demanda social de educação e comunicação referente ao seu componente de ensino.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L.W. **Modelagem matemática na Educação Básica**/ Lourdes Werle de Almeida, Karina Pessoa da Silva, Rodolfo Eduardo Vertuan. – São Paulo: Contexto, 2012.

AMORIM, F. **Abordagem Contextualizada e Interdisciplinar em Projetos de Ensino de Ciências visando a Inclusão Social: um estudo nas escolas do Maciço do Morro da Cruz – Florianópolis (SC)**. Florianópolis: UFSC, 2009. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.

BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica: **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, SEMTEC, 1999.

¹ YouTube é uma plataforma de compartilhamento de vídeos com sede em San Bruno, Califórnia

² O termo podcast vem da junção de "iPod", dispositivo reprodutor de áudio da Apple, e "broadcast", palavra em inglês que significa "transmissão".



CERCONI, F. B. M.; MARTINS, M. A. Recursos tecnológicos no ensino de matemática: considerações sobre três modalidades. In: *SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA* - 4, 2014, Ponta Grossa.

GIARDINETTO, J.R.B., **Matemática Escolar e Matemática da Vida Cotidiana**/ José Roberto Boettger. – Campinas, SP: Autores Associados, 1999. (Coleção polêmicas do nosso tempo: v.65)

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A Metodologia **científica**. São Paulo: Atlas, 1991.

LUNA, S. V. **Planejamento de pesquisa**: uma introdução. São Paulo: EDUC, 1997.

SHULMAN, L. S. Knowledge and teaching: foundations of the new reform. **Harvard Educational Review**, Cambridge, v. 57, n. 1, p. 1-22, 1987.

MACHADO, N. J. **Epistemologia e didática: as concepções de conhecimento e inteligência e a prática docente**. São Paulo: Cortez. 2002.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO. **Parâmetros curriculares Nacionais**. Brasília: MEC/SEF, 1997.

NUNES, T. et al. **Introdução à Educação Matemática**: números e operações numéricas. 2ª ed. São Paulo: PROEM, 2002

PEIRCE, C. S. **Escritos Coligidos**. Tradução: D'Oliveira, M. A.; Pomerangblum, S., 4 ed. São Paulo: Nova Cultura. 1974 – Os Pensadores, p.190.

PIRES, Magna N. M. & GOMES, Marilda T. **Fundamentos Teóricos do Pensamento Matemático**. Curitiba: IESDE, 2010

SANTOS, J. A.; FRANÇA, K. V.; SANTOS, L. S.B. dos. **Dificuldades na Aprendizagem de Matemática**. Monografia de Graduação em Matemática. São Paulo: UNASP, 2007.

STEEN, L. A. (Ed.). **Mathematics and democracy: the case for quantitative literacy**. Princeton, NJ: NCED, 2001. Tradução de Francisco Duarte Moura Neto.

SKOVSMOSE, O. Cenários para investigação. *BOLEMA*, Rio Claro, v. 13, n.14, p.6 - 91, 2000.

RAMOS, T. C. A importância da matemática na vida cotidiana dos alunos do ensino fundamental. **Cairu em Revista**. Jan/fev 2017, Ano 06, nº 09, p. 201-218, ISSN 22377719



CAPÍTULO 9

DATA LOGGER PARA APLICAÇÕES EM ENERGIA EÓLICA¹

Maro Jinbo
Marcelo Franklin Lorensetti
Mauro Ceretta Moreira
Bruno Leonardo Alves da Silva
Carlos Filipe Gonçalves dos Santos
Fernando Michelin Marques

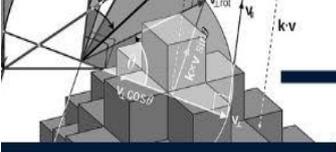
RESUMO

O presente artigo trata de um registrador de dados que foi desenvolvido (*data logger*) para aplicações em energia eólica, prospecção do potencial dos ventos em um determinado local. Não foi homologado no INMETRO, portanto, não pode ser utilizado nas medições demandadas pela ANEEL para prospecção e o monitoramento de usinas eólicas, que exigem instrumentos de medições de primeira linha (*First Class*) (anemômetros, *wind vane*, termômetro, barômetro e higrômetro) (THIES, 2022) e *data logger* (KINTECH, 2022) aprovados para serem utilizados no Brasil. Assim sendo, este *data logger* desenvolvido é recomendado para medições preliminares de prospecção eólica, utilizando-se instrumentos de medições também de baixos custos e não homologados (WRFComercial). O *data logger* desenvolvido é constituído por uma unidade do RASPBERRY Pi4 model B, 5 unidades do ESP8266 (microcontrolador com wifi), um painel fotovoltaico de 150W, um regulador de carga, uma bateria estacionária de 55 Ah. Para obtenção dos resultados experimentais apresentados neste artigo utilizou-se instrumentos de baixo custo e não homologados, 1 anemômetro digital de 3 copos e 1 *wind vane*, 1 sensor de temperatura e umidade, 1 barômetro altímetro. Os dados medidos, velocidade do vento, direção do vento, temperatura, umidade, pressão e altitude foram armazenados na memória micro SD de 32 GB do Raspberry Pi4 a cada 1 segundo e estes podem ser acessados remotamente através da internet por um software, o VNC. Além disso, os 4 ESP8266 enviam os dados para um servidor nos EUA (Weblink), que também possibilita através de um link de internet visualizar uma parte dos dados coletados referente aos últimos segundos. O *data logger* desenvolvido apesar de não homologado tem capacidade de realizar medições de acordo com as exigências da norma IEC61400 e da ANEEL, inclusive com a utilização de instrumentos de medição *First Class*.

PALAVRAS-CHAVE: *Data Logger*; Registrador de Dados; Energia Eólica; Prospecção Eólica.

INTRODUÇÃO

Para o aproveitamento do potencial eólico em um determinado local é necessário conhecer as médias dos ventos para se tenha uma segurança nos investimentos em turbinas eólicas e para as faixas maiores de potências das turbinas eólicas, exigências da ANEEL, realizar as medições por um período de três anos. As grandezas velocidade dos ventos, direção dos ventos, temperatura, pressão e umidade devem ser medidos de acordo com as normas da



IEC 61400 (*International Standard for wind measurement, 2017*) e as exigências da EPE (Empresa de Pesquisa Energética) (EPE, 2015).

Atualmente as torres de medições anemométricas homologadas costumam ter de 90 a 120 m de altura e possuem pelo menos 3 anemômetros *First Class*, 2 *wind vane First Class*, 1 termômetro, 1 barômetro e 1 hidrômetro e o *data logger*. Além de acessórios como painéis fotovoltaicos, baterias, módulos de conexão com a internet ou telefonia móvel.

Em um determinado local que se deseja realizar uma prospecção eólica, iniciar estes estudos com torres e instrumentos de primeira linha (*First Class*) consiste em um investimento muito elevado. Portanto, este *data logger* de baixo custo e que pode ser ajustado para instrumentos de medições de baixos custos e também para os denominados *First Class* é uma solução interessante. Uma medição preliminar é bastante útil na tomada de decisões para maiores investimentos na prospecção.

METODOLOGIA

A concepção do *data logger* do presente artigo foi idealizado baseando-se na experiência adquirida com outros dois sistemas desenvolvidos e testados anteriormente. O primeiro utilizava um microcontrolador PIC 18F4550 (ANDREOLA, 2016), realizava a leitura de dados anemométricos e armazenava-os em uma memória micro SD de 2GB e também apresentava os dados no *display* LCD de 2 linhas por 16 colunas. O segundo sistema utilizava o Arduino Nano, armazenava os dados em uma memória micro SD de 2GB e possuía módulo de comunicação *Bluetooth* o que dispensava o *display* e os valores mais recentes de dados podiam ser observados por um *smartphone*. Possuía um módulo GSM para envio de dados para um banco de dados utilizando a rede de telefonia móvel (LORENSETTI, 2018). Os dois sistemas funcionaram muito bem em condições de bancada de laboratório por meses, sem apresentar interrupções nas aquisições de dados. Esses *data loggers* quando foram expostos aos ambientes externos sob sol, chuvas, umidades, foram muito frequentes as falhas que ocasionaram perdas de dados.

No *data logger* desenvolvido do presente artigo utilizou-se o Raspberry Pi4 model B (RASPBERRY, 2022) que é muito utilizado em câmeras de vigilâncias em ambientes externos com inteligência artificial para reconhecimento de veículos e pessoas. Pode-se utilizá-lo com sistema operacional windows ou linux instalados na memória micro SD, com conexão a internet via *wifi* ou cabo. Assim sendo, os dados podem ser armazenados localmente e acessados a qualquer momento quando a internet esteja disponível no local.



Escolheu-se a utilização do ESP8266 (ESP8266, 2022) microcontrolador com *wifi*, para leitura dos instrumentos de medições anemométricas e para o envio dos dados via serial para o Raspberry Pi4. Além disso, o ESP8266 envia diretamente pela internet para um servidor de dados nos EUA, a Weblink (WEBLINK, 2022).

Realizado a escolha dos principais dispositivos que integram o *data logger*. Buscou-se recursos financeiros para o desenvolvimento. A proposta foi submetida a um edital de pesquisa e foi aprovada. Um bolsista de iniciação científica de graduação em engenharia de controle e automação foi alocado para trabalhar por 1 ano neste projeto.

Inicialmente elaborou-se um código em linguagem C para o ESP8266 que realizasse a leitura dos instrumentos de medições anemométricas e a comunicação com o Raspberry Pi e o servidor de dados. Elaborou-se um código em Python no Raspberry Pi para a comunicação com as 4 unidades do ESP8266 e o armazenamento dos dados recebidos na memória micro SD.

Montou-se o *data logger* em um quadro elétrico, com bateria, painel fotovoltaico, regulador de cargas e as conexões com os instrumentos de medições. Realizou-se testes em bancada do sistema para resolução dos problemas que surgiam. Resultou em um sistema que não apresentasse falhas, funcionando corretamente por semanas. Próxima etapa seriam testes em campo, ambientes externos e a verificação de eventuais problemas que possam surgir e encontrar soluções.

DATA LOGGER EÓLICO DESENVOLVIDO

A Tab. 1 apresenta os dispositivos que constituem o *data logger* desenvolvido com destaque ao Raspberry Pi4 model B e os ESP8266 microcontrolador com *wifi on board*.

Tabela 1: *data logger* eólico.

Dispositivo	Função
(1) Raspberry Pi4 Model B 4GB RAM, micro SD32GB	Salvar os dados coletados em uma memória micro SD e permitir o acesso pela internet
(2) ESP8266 microcontrolador com wifi	4 unidades para as leituras dos instrumentos das grandezas meteorológicas
(3) ESP8266 Reset	1 unidade que permite o <i>reset</i> remoto de todo sistema
(4) Regulador de cargas PWM 30A	Recebe a energia do painel fotovoltaico, carrega bateria e pode alimentar o <i>data logger</i>
(5) Bateria estacionária 12V 55 Ah	Fornecer energia em caso de falta de fornecimento pela rede elétrica
(6) Cabos USB	Coumações seriais entre os 4 ESP8266 e o Raspberry Pi4
(7) Painel fotovoltaico de 150W	Fornecer energia em caso de falta pela rede elétrica

Fonte: Autoria própria, 2022.



A Fig. 01 apresenta o quadro elétrico do *data logger* desenvolvido: (1) Raspberry Pi4 model B, (2) ESP8266 leitores dos instrumentos meterológicos, (3) ESP8266 *reset* do sistema, (4) Regulador de cargas PWM 30A, (5) Bateria estacionária 12V 55Ah, (6) Cabos USB para comunicações seriais entre os ESP8266 e o Raspberry Pi4.

RASPBERRY Pi4

Utilizou-se o Raspberry Pi4 Model B, 4GB de memória RAM, cartão micro SD Classe 10 (rápida) de 32 GB, cooler para ventilação, *case* (caixa plástica de proteção) e fonte de alimentação com interruptor. Instalou-se o sistema operacional Linux Raspbian, pois este possui todos os drivers para funcionar todos os periféricos, incluindo o módulo wifi para conexão com a internet. Além disso foi instalado o compilador Python Pycharm e o software VNC para acesso remoto.

Figura 1: Vista frontal do *data logger* desenvolvido.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Utilizou-se o Pycharm para compilar os códigos em linguagem e programação Python. Desenvolveu-se em Python um código, cujo arquivo denominou-se `datalogger.py`. Este executa as comunicações seriais com as 4 unidades de ESP8266 e salva os dados obtidos em 4 arquivos `.txt` que denominaram-se `dadosx.txt` ($x=a,b,c,d$). Executando-se o código `datalogger.py` inicia-se o recebimentos dos dados e o salvamento nos arquivos `.txt`.



O sistema operacional Raspbian possui o VNC integrado e para utilizá-lo basta habilitá-lo. Assim é possível acessar remotamente a memória micro SD de 32GB do Raspberry através da internet por um outro computador com o VNC instalado e com o endereço IP do Raspberry.

ESP8266 - LEITURA DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

Utilizou-se 4 unidades do ESP8266 que são microcontroladores com *wifi* integrados conectados aos instrumentos de medições meteorológicas. A utilização de anemômetros digitais com saídas pulsadas, incluindo os chamados *First Class*, necessitam da utilização de entradas digitais específicas do ESP8266, entradas para interrupções externas. Este possui duas entradas para esta finalidade. Necessita-se também da programação de uma rotina de interrupção para essas entradas específicas que contabilize o intervalo de tempo transcorrido entre as interrupções externas. Assim, consegue-se medir a rotação do anemômetro, portanto, a leitura da velocidade dos ventos.

Considerando-se que o *data logger* possui 4 ESP8266, pode-se conectar até 8 anemômetros digitais. A utilização das entradas analógicas para leitura de instrumentos também é bastante simples. A saída *wind vane* é conectado em uma das entradas analógicas. Este sensor de direção do vento trata-se de um resistor variável em 360°. Além disso, na programação em C do ESP8266 pode-se utilizar a IDE (software de programação) do Arduino que possui muitas bibliotecas prontas para a utilização de vários outros sensores como os de temperatura, umidade e pressão.

Uma das características que foram determinantes também para a escolha do ESP8266 como dispositivo de leitura foi o seu módulo *wifi*. O que possibilitou o envio de dados de segundo em segundo para um servidor de dados nos EUA, o WEBLINK. Além disso, possibilitou disponibilizar os últimos dados lidos em um *link* de internet. Isto necessitou uma programação em PHP dentro do site da WEBLINK.

ESP8266 – RESET REMOTO DO DATA LOGGER

O *data logger* possui 1 ESP8266 que tem a finalidade de reinicializar o sistema remotamente. Em uma de suas saídas digitais tem conectado um relé, este quando comandado liga e desliga a alimentação do sistema. Um código em C foi elaborado para que esse ESP8266 se conecte na internet e seja acessível através de um site denominado Adafruit (ADAFRUIT, 2022). Pode-se ressetar através de um *smartphone* ou computador.



RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O teste de funcionamento com o *data logger* desenvolvido foi realizado em condições de banca de laboratório, sem exposições ao sol, chuvas e umidades. Somente o painel fotovoltaico ficou exposto. Foram duas etapas de testes, uma para o período de desenvolvimento, onde os códigos foram gradativamente sendo elaborados para os ESP8266 e para o Raspberry. A outra para verificar o seu correto funcionamento de acordo com o esperado. Por fim o sistema ficou pelo menos 1 mês funcionando ininterruptamente sem apresentar problemas.

SENSORES UTILIZADOS PARA EXPERIMENTO

A velocidade do vento foi medida utilizando-se um anemômetro digital de 3 copos fabricado em alumínio. Este gera um pulso por revolução (WRFComercial, 2022). Não se trata de um instrumento *First Class*, mas é de saída pulsada também. Utilizou-se um CI 4050 como opto acoplador, pois foi utilizado um cabo de 20 m de comprimento entre o anemômetro e o ESP8266 que realiza a sua leitura.

A direção do vento foi medida utilizando-se, um *wind vane* sensor de direção do vento também do mesmo fabricante do anemômetro. Este possui saída analógica de 0 a 5V de acordo com a posição angular de 0 a 360°, mas segue o princípio de funcionamento de um *First Class*.

O sensor de temperatura e umidade foi o DTH11 (DTH11, 2022) conectado na entrada digital do ESP8266. Bibliotecas já estão disponíveis na própria IDE de programação, facilitando muito a sua utilização.

O sensor de pressão e altitude foi o BMP180 (BMP180, 2022) conectado a uma entrada digital do ESP8266. Este sensor também possui bibliotecas prontas na IDE e também de fácil utilização.

DADOS ARMAZENADOS NA MEMÓRIA DO RASPBERRY

A seguir na Tab. 2 apresenta-se um trecho de linhas de dados extraídas na íntegra do arquivo dataloggerA.txt armazenadas na memória micro SD de 32GB do Raspberry Pi4. AS colunas são respectivamente, data, hora, grandeza e o valor lido. Sendo a temperatura em graus Celsius, umidade relativa em percentual, pressão em milibar, altitude em metros, rotação do anemômetro em RPM, velocidade do vento em m/s, a direção do vento em graus e o intervalo da interrupção em milissegundos.



Tabela 2: data, hora, velocidade do vento, direção do vento, temperatura, umidade, pressão e altitude.

2021-12-05 09:03:11.311343 b'Temperatura:27.10\r\n'
 2021-12-05 09:03:11.656536 b'01-Temperatura:27.10\r\n'
 2021-12-05 09:03:11.677411 b'02-Umidade:50.00\r\n'
 2021-12-05 09:03:11.695033 b'03-Pressao : 940.150 mb\r\n'
 2021-12-05 09:03:11.712747 b'04-Altitude : 626.93 m\r\n'
 2021-12-05 09:03:11.730195 b'05-RPM:126\r\n'
 2021-12-05 09:03:11.747543 b'06-Vento:3.90\r\n'
 2021-12-05 09:03:11.766152 b'07-Direcao:1.00\r\n'
 2021-12-05 09:03:11.777621 b'DifeTempo:469\r\n'
 2021-12-05 09:03:11.788868 b'Temperatura:27.10\r\n'
 2021-12-05 09:03:12.198400 b'200\r\n'
 2021-12-05 09:03:12.209880 b'OK\r\n'
 2021-12-05 09:03:12.220559 b'27.10 50.00 3.90 1.00 940.15\r\n'
 2021-12-05 09:03:12.230907 b' DifeTempo:466\r\n'
 2021-12-05 09:03:12.241515 b'Temperatura:27.10\r\n'
 2021-12-05 09:03:12.662356 b'DifeTempo:443\r\n'
 2021-12-05 09:03:12.684770 b'Temperatura:27.10\r\n'
 2021-12-05 09:03:13.107235 b'DifeTempo:457\r\n'
 2021-12-05 09:03:13.126182 b'Temperatura:27.10\r\n'
 2021-12-05 09:03:13.240615 b'01-Temperatura:27.10\r\n'
 2021-12-05 09:03:13.257338 b'02-Umidade:50.00\r\n'
 2021-12-05 09:03:13.274323 b'03-Pressao : 940.190 mb\r\n'
 2021-12-05 09:03:13.293563 b'04-Altitude : 627.11 m\r\n'
 2021-12-05 09:03:13.310084 b'05-RPM:131\r\n'
 2021-12-05 09:03:13.324665 b'06-Vento:4.04\r\n'
 2021-12-05 09:03:13.338571 b'07-Direcao:1.00\r\n'

Fonte: Autoria própria, 2021.

DADOS ENVIADOS AO SERVIDOR DE DADOS E APRESENTADOS NA INTERNET

A seguir na Tab. 3 apresenta-se os dados que foram enviados pelos ESP8266 ao banco de dados da WEBLINK nos EUA e são possíveis de serem visualizados através de um *link* de internet. Necessitou-se de uma programação em PHP dentro do banco de dados para possibilitar essa visualização. Alguns segundo não aparecem os dados no *link* de internet mas na base de dados estão sem falhas ou perdas.

Tabela 3: registros de dados em um servidor de dados e apresentados em um endereço de internet.

Data	Hora	Temperatura °C	Umidade %	RPM	Veloc. Vento m/s	Dirção Vento graus
2022-03-20	03:48:14	19.6	76	182	2.81	94
2022-03-20	03:48:13	19.6	76	166	2.57	104
2022-03-20	03:48:11	19.6	76	165	2.54	103
2022-03-20	03:48:10	19.6	76	185	2.86	107
2022-03-20	03:48:08	19.6	76	197	3.04	119
2022-03-20	03:48:07	19.6	76	205	3.16	109
2022-03-20	03:48:05	19.6	76	208	3.21	107
2022-03-20	03:48:04	19.6	76	209	3.23	107
2022-03-20	03:48:02	19.6	76	187	2.89	108
2022-03-20	03:48:01	19.6	76	186	2.87	103
2022-03-20	03:47:59	19.6	77	198	3.06	110



2022-03-20	03:47:58	19.6	77	209	3.23	103
2022-03-20	03:47:56	19.6	77	200	3.08	97
2022-03-20	03:47:55	19.6	77	214	3.3	107
2022-03-20	03:47:53	19.6	77	223	3.43	119
2022-03-20	03:47:52	19.6	77	220	3.4	97
2022-03-20	03:47:50	19.6	77	215	3.32	108
2022-03-20	03:47:49	19.6	77	233	3.59	119
2022-03-20	03:47:47	19.6	77	199	3.07	91

Fonte: Autoria própria, 2022.

CONCLUSÕES

O *data logger* desenvolvido funcionou corretamente em ambiente de laboratório, coletando dados de velocidade dos ventos, direção dos ventos, temperatura, umidade, pressão e altitude a cada segundo e armazenando-os na memória micro SD de 32GB do Raspberry. O acesso aos arquivos *dataloggerA.txt*, *dataloggerB.txt*, *dataloggerC.txt* e *dataloggerD.txt* da memória micro SD, através do software VNC, a partir de um computador permitiu copiar os arquivos de forma remota. Além disso, o sistema enviou os dados para um banco de dados e apresentou algumas dessas grandezas selecionadas em um *link* na internet. Possibilitando visualizá-los pelo computador ou *smartphones*.

Como trabalhos futuros a sugestão seria realizar ensaios de 6 meses a 1 ano com o *data logger* colocado em campo, sob condições de sol, chuva, umidade e verificar eventuais falhas que o sistema venha apresentar e resolvê-los. Outra sugestão seria implementar um código de coleta de dados que realize a média das grandezas a cada 10 minutos e calcule o desvio padrão dessas grandezas, enviando e armazenando somente estas informações.

REFERÊNCIAS

ADAFRUIT. Disponível em: <<https://www.adafruit.com>> Acessado em 01 abril de 2022.

ANDREOLA, A.T.; Jinbo, M. *Low cost data acquisition system for wind prospecting. 12th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON), 2016.*

BMP180. Sensor de pressão e altitude. Disponível em: <<https://www.adafruit.com>> Acessado em 01 abril de 2022.

DHT11. *Humidity & Temperature Sensor*. Disponível em: <<https://www.mouser.com>> Acessado em 01 abril de 2022.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). *Instalação de Estações Anemométricas. Boas Práticas*. RJ, 2015.



ESP8266. Disponível em: <<https://www.esp8266.net>> Acessado em 01 abril de 2022.

IEC61400-12-1:2017 *International Standard for wind measurement*, 2017.

KINTECH. *Leading Manufacturer of Data Loggers for Wind And Solar Measurement*. Disponível em: <<https://www.kintech-engineering.com>>. Acessado em 01 abril de 2022.

LORENSETTI, M.F. Sistema Integrado de Prospecção Eólica On-Line para Microgeração. UnoChapecó Engenharia Elétrica TCC, 06/2018.

RASPBERRY PI. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org>> Acessado em 01 abril de 2022.

THIES. Fabricante de anemômetros First Class. Disponível em: <<https://www.thiesclima.com>>. Acessado em 01 abril de 2022.

WEBLINK. Servidor de Dados. Disponível em: <<https://www.weblink.com.br>> Acessado em 01 abril de 2022.

WRFComercial. Estações meteorológicas. Disponível em: <<https://www.wrfcomercial.com.br>> Acessado em 01 abril de 2022.



CAPÍTULO 10

SISTEMA FOTOVOLTAICO DE ENERGIA, COBERTURA VEICULAR, COLETA DE ÁGUA E SISTEMA DE MONITORAMENTO DIDÁTICO

Maro Jinbo

Carlos Filipe Gonçalves dos Santos

Mateus Marcon Simionato

Sandra Aparecida Antonini

Renato Luis Bergamo

Matheus Henrique dos Santos do Valle Buso

Mateus Andre Hilgert

Pedro De Paiva Queiroz

RESUMO

Este artigo trata de um sistema de energia fotovoltaica de 6,67 kW_{pico} que foi instalado no Instituto Federal de SC câmpus Chapecó. Foram construídos vigas para suportar as telhas de aluzinco e sobre estes estão dispostos os 15 painéis fotovoltaicos de 445 W_{pico}. O espaço abaixo da cobertura serve de garagem para os veículos oficiais que incluem um micro ônibus, uma caminhonete e um veículo de passeio. O telhado possui uma declividade e a água da chuva cai numa calha em sua lateral e é escoado para dentro de dois tanques reservatórios com capacidades para 1000 litros cada um. Os dois tanques estão interligados e possuem uma bomba de água que futuramente levará água até uma cisterna, mas já podem fornecer água para limpezas dos pátios e calçadas do câmpus. Considerando-se que os sistemas fotovoltaicos comerciais não permitem utilizações didáticas de forma invasiva, ou seja, abrir o inversor *on grid* para fazer alterações na eletrônica ou nos códigos dos algoritmos *MPPT* (*Máximum Power Point Tracking*), este trabalho apresenta uma forma de utilização didática para cursos da área de informática e de elétrica. Desenvolveu-se um medidor de potência elétrica da energia injetada pelo sistema fotovoltaico instalado. Faz-se a leitura da tensão alternada da rede elétrica no ponto de injeção de energia, corrente alternada, nível de água dos reservatórios, estas grandezas são apresentadas em um display 16x2 e podem ser comparadas com as medições que o sistema comercial fornece em seu aplicativo de *smartphone*.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema fotovoltaico; Medição de energia; Telhado fotovoltaico; Reuso da água das chuvas; Garagem veículos oficiais.

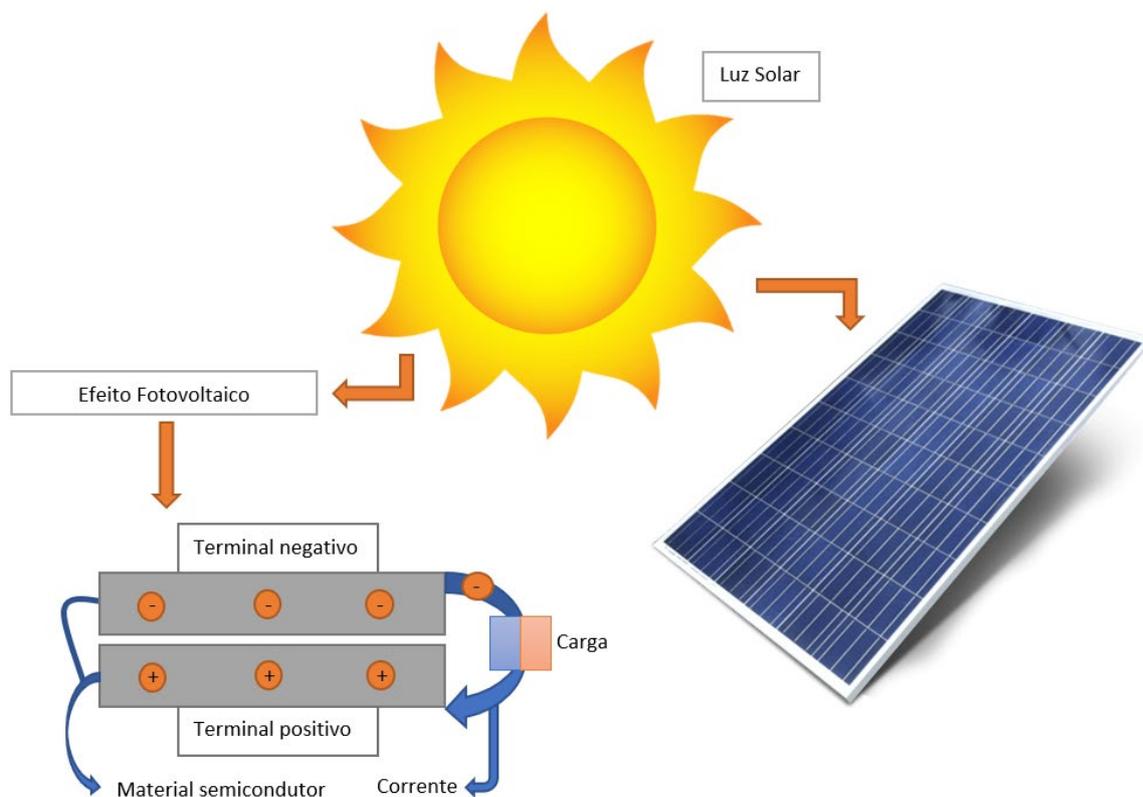
INTRODUÇÃO

A energia vem do Sol para a Terra em forma de radiação eletromagnética, composta de uma ampla faixa de frequências e comprimentos de ondas. Nesse espectro de frequências da radiação solar, tem uma faixa visível ao olho humano, uma faixa que se pode captada como calor e uma faixa que pode ser captada como energia elétrica. As ondas eletromagnéticas quando incidem em determinados materiais podem produzir efeitos fotovoltaicos ou fotoelétricos. O fotovoltaico é a transformação da radiação eletromagnética do Sol em energia



elétrica utilizando-se materiais semicondutores que produzem uma diferença de potencial ou tensão elétrica sob incidência da radiação.

Figura 01: Efeito fotovoltaico.



Fonte: autoria própria, 2022.

Os painéis fotovoltaicos são constituídos de células fotovoltaicas, cujas tecnologias mais comuns são de silício monocristalino, silício policristalino e filme fino de silício. As células com tecnologia de monocristalino têm apresentado as melhores eficiências (PINHO, 2014).

Os sistemas fotovoltaicos de energia são uma grande realidade de hoje no Brasil e no mundo, em crescente expansão. Reduzem ou zeram as contas de energia elétrica da concessionária. São sistemas constituídos basicamente de painéis fotovoltaicos e inversores de frequências que exigem baixa manutenção, vida útil longa, retorno do investimento previsível e relativamente rápido, em torno de 6 a 8 anos. Existem os sistemas fotovoltaicos isolados e os conectados à rede elétrica (VILLALVA, 2012). Os painéis fotovoltaicos também estão sendo fabricados com maiores potências e os inversores de frequência *on grid* com variadas características e potências. Além disso, vários aplicativos estão sendo desenvolvidos para o monitoramento da energia injetada, aplicativo *mobile* que permitem o acesso remoto via *smaphones* por redes *wifi* ou rede de telefonia móvel.



SISTEMA FOTOVOLTAICO INSTALADO

As instituições de ensino públicas e privadas também estão investindo em geração de energia fotovoltaica. No presente trabalho apresenta-se um sistema fotovoltaico do Instituto Federal de Santa Catarina campus Chapecó que foi instalado com fomento de recursos de edital de pesquisa. Além dos benefícios da redução da conta de energia elétrica, foi solucionado o problema de longa data que é a ausência de garagem coberta para os veículos oficiais (micro ônibus, caminhonete e veículo de passeio) que ficavam expostos ao tempo e se deteriorando. No campus tem-se o curso técnico de informática integrado ao ensino médio e o curso técnico de energias renováveis integrado ao ensino médio em fase de implantação, assim sendo, é interessante poder utilizar o sistema fotovoltaico instalado para fins didáticos. Porém considerando-se que o sistema fotovoltaico possui garantias do fabricante e não é permitido utilizá-lo de forma invasiva, alterando a disposição dos painéis ou os circuitos eletrônicos e elétricos dos inversores. O sistema de medição da potência injetada desenvolvido pode ser uma forma de utilização do sistema fotovoltaico instalado de forma não invasiva. Os alunos poderão aprender eletrônica, microcontroladores, programação de linguagem C, banco de dados entre outros conhecimentos relacionados. Tem-se muitas possibilidades de desenvolvimentos a partir do que já foi implementado neste trabalho.

Entre o espaço do Bloco B (biblioteca) do campus Chapecó e o contêiner do Centro Acadêmico foi construído com vigas de aço tubular retangular o suporte para as telhas de aluzinco. Sobre essas telhas de aluzinco foram instalados 15 painéis fotovoltaicos de dimensões 2 x 1 m com potências de 445 Wpico, totalizando 6,67kWpico, conforme Fig. 01. As estruturas de vigas foram soldadas e pintadas no próprio campus pelos alunos bolsistas e professores da área mecânica. Estas estruturas ficaram apoiadas de um lado no contêiner (centro acadêmico), cujo telhado é do tipo ecológico, no outro lado na parede de alvenaria do bloco B, onde está a biblioteca. Os painéis fotovoltaicos foram afixados no telhado com estruturas próprias de alumínio e grampos parafusáveis. Optou-se instalá-los justapostos às telhas de aluzinco sem ângulo de inclinação, pois venta muito no terreno onde está o campus e têm sido frequentes danos causados pelos ventos nas coberturas de fibrocimento das edificações. Para a localização geográfica onde está o sistema fotovoltaico instalado é recomendado um ângulo de 27 graus com o horizonte, com as faces dos painéis virados para o Norte, assim consegue-se otimizar a geração de energia. Instalou-se um inversor *on grid* de 5,0 kWpico na sala de telecomunicação existente do bloco B e um micro inversor *on grid* complementar de 3,0 kWpico, logo abaixo dos painéis fotovoltaicos.



Figura 01: Estruturas de aço do telhado fotovoltaico da garagem dos veículos oficiais.



Fonte: autoria própria, 2022.

As águas das chuvas escorrem sobre as telhas de aluzinco e através de uma calha que fica na lateral junto a parede de alvenaria do bloco B são conduzidas por um tubo de PVC de 100 mm para as duas caixas de água gradeada com alumínio de 1000 litros cada um, Fig. 02. Assim que a tubulação para o bombeamento da água estiver pronta, esta água dos reservatórios será enviada para uma cisterna que já alimenta determinados vasos sanitários do câmpus. Na tampa em vermelho de uma caixa de água que se pode ver na foto da Fig.02 foi instalado o sensor de ultrassom que mede o nível de água da mesma.

Figura 02: Caixa de água com 1000 litros para coleta da água das chuvas.



Fonte: autoria própria, 2022.



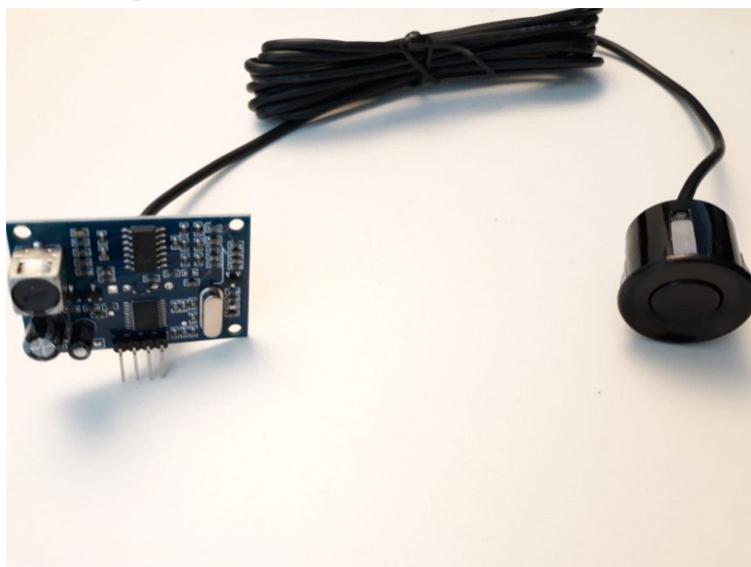
SISTEMA DE MONITORAMENTO DA ENERGIA PARA FINS DIDÁTICOS

O sistema fotovoltaico 6,67 kW_{pico} possui um sistema de monitoramento da energia injetada na rede elétrica com aplicativo para *smartphones* denominado Renoclient (RENOVIGI, 2022). Mas trata-se de um sistema todo proprietário que nada pode-se desenvolver ou complementar o seu desenvolvimento, sem acesso ao código fonte e diagramas eletrônicos e elétricos.

Objetivando a utilização do sistema fotovoltaico para fins didáticos, mas sem correr o risco de ocasionar danos ou perda da garantia do fabricante, desenvolveu-se um sistema de medição de potência e nível da água do reservatório da caixa de água de coleta. Este sistema pode ser continuamente aperfeiçoado pelos alunos das áreas a fim.

Para medição do nível da água nos reservatórios de coleta da água das chuvas foi utilizado um sensor ultrassônico de distância a prova de água, modelo JSN-SR04 (JSN-SR04, 2022), pode-se observar na Fig. 03. Possui faixa de operação entre 20 até 600 cm de distância. O sensor foi instalado na tampa da caixa de água, sua pequena placa eletrônica de transdução foi colocada no quadro de comando do motor da bomba de água, protegido das chuvas. Entre a placa de transdução do próprio sensor e o microcontrolador Arduíno UNO foi feita uma conexão com cabo de 4 vias, duas de alimentação e duas do sinal de medição do nível. Como as duas caixas foram interligadas não se tem a necessidade de medir o nível de cada uma delas separadamente. A medição do nível será muito útil quando se realizar a conexão das duas caixas de 1000 litros com a cisterna, assim toda vez que elas se encherem será acionada a bomba para transferência da água para a cisterna.

Figura 03: Sensor de distância (nível) ultrassônico.



Fonte: autoria própria, 2022.



A medição da tensão fase-neutro da rede elétrica de 220 V eficaz foi realizada no quadro de distribuição do bloco B, no ponto onde estão conectados os inversores *on grid* do sistema fotovoltaico. Utilizou-se para isso o sensor de tensão alternada ZMPT101b que pode ser utilizado na faixa de 0 até 250 V (ZMPT101B, 2022), pode-se observar na Fig. 04. O quadro de distribuição do bloco B possui 3 barramentos, uma para cada fase da rede elétrica. A tensão fase-neutro é de 220 V. Instalou-se um disjuntor monofásico de corrente nominal 1 A na mesma fase onde se está sendo injetada a energia gerada pelo sistema fotovoltaico e o sensor conectado entre esta fase e o neutro, 220 V. Assim faz-se a leitura da tensão da fase que é de interesse. O sinal da medição vai até o Arduíno UNO através de três condutores, dois de alimentação do sensor e um de sinal. Necessitou-se de um divisor resistivo com dois resistores de 10 k Ω para adequação do sinal proveniente do sensor de tensão para a entrada do Arduíno. Além disso, um ajuste da tensão medida variando-se o potenciômetro da placa de transdução do sensor, utilizando-se um multímetro para aferição do valor medido pelo sensor.

A corrente elétrica alternada que está sendo injetada na rede elétrica pelo sistema fotovoltaico é medida com um sensor não invasivo, do tipo por indução e os dois condutores do sensor é conectado diretamente no Arduíno. O modelo do sensor utilizado é SCT-013-30/1V para correntes de até 30A (SCT-013-30/1V, 2022). O sensor foi colocado no condutor fase proveniente dos inversores *on grid* antes de se conectar no disjuntor do quadro de distribuição do bloco B. Necessitou-se um cuidado adicional, pois os outros condutores presentes na caixa de passagem também produzem fluxo magnético e interferem na medição da corrente elétrica. Assim foi necessário afastar o condutor e o sensor dos demais condutores presentes.

Figura 04: Sensor de tensão 0 a 250 V AC.

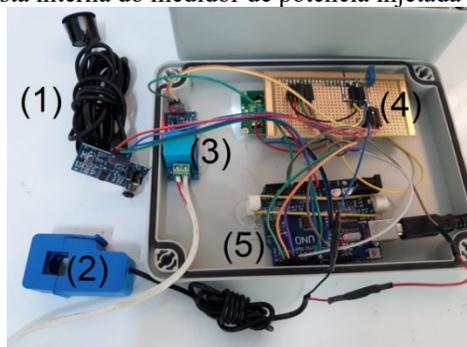


Fonte: autoria própria, 2022.



A Fig. 05 apresenta a imagem do interior da caixa plástica que contém o sistema de medição da potência injetada na rede elétrica desenvolvida. Onde: (1) sensor de nível ultrassônico, (2) sensor de corrente, (3) sensor de tensão, (4) placa do display LCD 16x2 e (5) o microcontrolador Arduino UNO.

Figura 05: Vista interna do medidor de potência injetada e nível da água.



Fonte: autoria própria, 2022.

Na Fig. 06 pode-se ver a parte frontal da caixa de medição desenvolvida. O display LCD 16 colunas por 2 linhas apresenta durante 5 segundos os valores da tensão alternada eficaz instantânea [Volts] e corrente alternada eficaz [Amperes]. Nos 5 segundos posteriores apresenta a potência elétrica injetada na rede [Watts] juntamente com o nível da água nas caixas de água [cm]. O sistema vai alternando a apresentação das grandezas de 5 em 5 segundos.

Existe um banco de dados da empresa WEBLINK (WEBLINK, 2022) que é utilizado para fins didáticos no câmpus Chapecó por alguns professores da área de informática. As grandezas medidas pelo sistema poderão ser enviadas pela internet para esse banco de dados e um link de acesso a esses dados poderá ser gerado para servir de monitoramento. Pretende-se incentivar os alunos a realizar esta atividade nas unidades curriculares de projetos integradores, principalmente nos cursos técnico de informática integrado ao ensino médio e o técnico de eletroeletrônica.

Figura 06: Vista frontal com os valores de potência elétrica e nível da água.

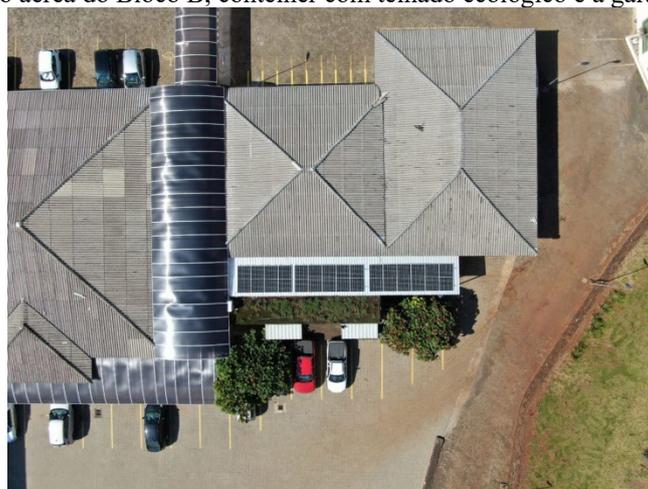


Fonte: autoria própria, 2022.



Na Fig. 07 pode-se observar a visão aérea dos blocos A (esquerda) e B (direita), dos toldos de policarbonato em formato côncavo entre os blocos e dos 15 painéis fotovoltaicos de formatos retangulares agrupados em três conjuntos. Estes foram instalados sobre as telhas de aluzinco da garagem destinadas para os veículos oficiais. Margeando os painéis o telhado ecológico do contêiner do centro acadêmico. O micro inversor de 3,0 kWpico está instalado logo abaixo dos painéis fotovoltaicos e o de 5,0 kWpico na sala de telecomunicação do bloco B.

Figura 07: Visão aérea do Bloco B, contêiner com telhado ecológico e a garagem fotovoltaica.



Fonte: autoria própria, 2022.

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Os 15 painéis fotovoltaicos de 445 Wpico com a utilização de um inversor de 5,0 kWpico e outro micro inversor de 3,0 kWpico constituem o sistema fotovoltaico propriamente e contribuem para a redução dos gastos com a energia elétrica no câmpus Chapecó do Instituto Federal de SC que costumam chegar a 15 mil reais mensais. As estruturas de aço que suportam as telhas de aluzinco e os painéis ficaram bem robustos e firmes.

O sistema de medições das grandezas elétricas no ponto de injeção de energia pelo sistema fotovoltaico instalado e nível da água nas duas caixas de água das chuvas funcionaram como esperado, lendo e apresentando as grandezas no *display* LCD. São apresentados tensão elétrica alternada [V], corrente elétrica alternada [A], potência elétrica injetada [W] e nível do reservatório de água [cm]. Os dados apresentados no display se alternam a cada 5 segundos. Utilizando-se um multímetro mediu-se a corrente injetada, a tensão da rede elétrica e podem-se verificar valores muito próximos com o que o sistema de medição desenvolvido apresenta. A água das chuvas armazenadas já podem ser utilizados para a limpeza nos arredores dos blocos



A e B, mas futuramente serão bombeados para uma cisterna maior já existente no campus e estes tem comunicação com determinados vasos sanitários.

Como continuidade do presente trabalho são muitas possibilidades. Pode-se citar: melhoria no código em linguagem C do Arduino UNO para que ele calcule a energia injetada em kWh pelo produto da potência medida e integração do tempo; Utilização de médias móveis para as grandezas medidas e armazenamento local dos dados em memória micro SD e remoto em banco de dados; Melhorias no banco de dados da Weblink para apresentação dos dados coleta dos através do link de internet.

REFERÊNCIAS

JSN-SR04T - Sensor Ultrassônico de Distância. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/sensor-ultrassonico-jsn-sr04t-a-prova-d-agua.html>. Acesso em: 04/05/2022.

PINHO, J.T.; GALDINO, M.A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CEPEL-CRESESB, 2014.

RENOVIGI - Energia Solar. Disponível em: <https://renovigi.com.br/> Acesso em: 04/05/2022.

SCT-013-030 - Sensor de corrente alternada 30A. Disponível em: <https://www.curtocircuito.com.br/sensor-corrente-nao-invasivo-30a-ac-sct-013-030.html> Acesso em: 04/05/2022.

VILLALVA, M.G; GAZOLI, J.R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 1ª Ed. Editora Erica, 2012.

WEBLINK Hospedagem de sites. Disponível em: <https://www.weblink.com.br>. Acesso em: 04/05/2022.

ZMPT101B - Sensor de tensão alternada 0 a 250V. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-de-tensao-ac-0-a-250v-voltmetro-zmpt101b>. Acesso em: 04/05/2022.



CAPÍTULO 11

MODELO DA TURBINA EÓLICA DE EFEITO MAGNUS¹

Maro Jinbo

Carlos Filipe Gonçalves dos Santos

Edson Ribeiro dos Santos

Marcelo Franklin Lorensetti

Matheus Henrique dos Santos do Valle Buso

Mauricio Daniel Marczal

Mauro Ceretta Moreira

RESUMO

Apresenta-se a modelagem matemática de turbinas eólicas que não utilizam pás convencionais para captar a energia cinética dos ventos. No lugar das pás, a turbina possui cilindros girantes acionados por um ou mais motores elétricos. Cilindros girantes imersos no ar criam diferenças de pressões originando forças (de sustentação) transversais à direção do fluxo de ar. Este fenômeno físico é conhecido como Efeito Magnus. Essas forças aplicadas aos cilindros girantes de uma turbina proporcionam o torque no eixo principal que é transmitida ao gerador elétrico. Características relevantes da turbina eólica de efeito Magnus que aperfeiçoam o seu desempenho também são apresentados, tais como: número ideal de cilindros, características da superfície dos cilindros, relação ótima entre o comprimento e diâmetro dos cilindros entre outras. Faz-se referência a uma empresa japonesa que fabrica comercialmente este tipo de turbina eólica, a Mecaro, cuja patente de invenção foi registrada no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Turbina Eólica; Efeito Magnus; Cilindros Girantes; Energia Eólica.

INTRODUÇÃO

Sistemas de geração de energia elétrica baseados em fontes renováveis como a solar e a eólica estão se tornando cada vez mais importantes com o aumento percentual de suas contribuições na matriz energética dos países. Fatores como a escassez do potencial hidráulico a ser explorado, resíduos do uso da energia nuclear e a poluição causada pelo carvão mineral fortalecem ainda mais a utilização da eólica.

A potência instalada de sistemas eólicos vem crescendo em todo mundo de forma exponencial. A tecnologia de turbinas eólicas vem evoluindo favorecendo o aumento do diâmetro do rotor e com isso a potência captada pelas turbinas.

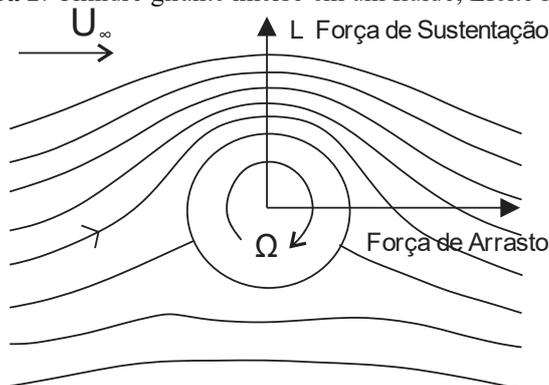
A turbina eólica que trata o presente capítulo baseia-se no princípio físico conhecido como Efeito Magnus que é apresentado na Figura 1. Tem-se um cilindro de raio R rotacionando

¹ Edital 94/2013 CNPq



com velocidade angular Ω no sentido horário, imerso em um fluido de densidade ρ , cuja velocidade laminar do fluido é U_∞ . Na parte superior do cilindro tem-se maior velocidade do fluido, conseqüentemente menor pressão e na parte inferior tem-se menor velocidade, conseqüentemente maior pressão, criando-se uma força resultante F_s que é a força de sustentação (*lift force*) no sentido de baixo para cima.

Figura 2: Cilindro girante imerso em um fluido, Efeito Magnus.



Fonte: A autoria própria, 2016.

A Equação (1) expressa a força de sustentação F_s obtida do teorema de Kutta-Joukowski (LUO, 2011).

$$F_s = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot U_\infty \cdot \Omega \cdot R^2 \quad (1)$$

TURBINA EÓLICA DE EFEITO MAGNUS

HISTÓRICO

Em 1852 o cientista alemão Heinrich Gustav Magnus descobriu o fenômeno que ficou conhecido como Efeito Magnus.

Em 1926 o engenheiro aeronáutico nascido na Alemanha, Anton Flettner construiu um sistema eólico de 30 kW de potência para velocidade de vento nominal de 10 m/s. O sistema eólico possuía uma turbina de eixo horizontal baseado no princípio do efeito Magnus com 4 cilindros acionados por motores elétricos no lugar das pás convencionais. Os cilindros tinham 5 m de comprimento e 0,8 m de diâmetro no ponto médio. O rotor possuía um diâmetro de 20 m e o sistema eólico foi colocado em uma torre de 33 m de altura.

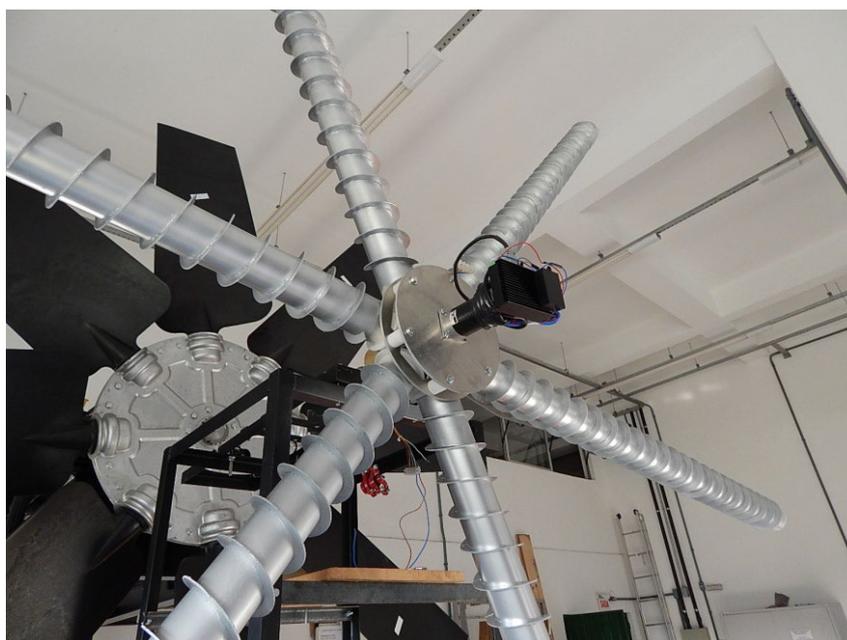
Em 1983 nos Estados Unidos ressurgiram experimentos com a turbina eólica de eixo horizontal e efeito Magnus, a *Barrel-Blade* (forma de barril), foi denominado assim pela aparência dos cilindros com barris. Ao longo dos anos muitos países tentaram desenvolver a



turbina eólica de efeito Magnus, mas sem sucesso, pois a superfície lisa dos cilindros consumia excessiva energia no acionamento dos mesmos, o que reduzia a eficiência e o tornava inviável.

Em 1998 foi fundada a empresa MECARO no norte do Japão que iniciou suas atividades desenvolvendo equipamentos para linhas de produção das indústrias. Através de esforços em conjunto entre indústria, governo (prefeitura de Akita) e universidades, após 4 anos de pesquisas conseguiram desenvolver uma turbina eólica de efeito Magnus viável comercialmente. Realizando experimentos com protótipos de turbinas de efeito Magnus, a MECARO percebeu que cilindros em forma de espiral, melhoravam a eficiência da turbina, em velocidade mais baixas de vento. Ou seja, as barbatanas em espiral dos cilindros aumentavam o Efeito Magnus e conseqüentemente o torque da turbina eólica. Na Figura 2 tem-se um protótipo de turbina eólica de efeito Magnus de 3,0 m diâmetro do IFSC (Instituto Federal de SC) câmpus Chapecó (JINBO, 2016).

Figura 2: Protótipo de turbina eólica de efeito Magnus.



Fonte: A autoria própria, 2016.

Em janeiro e fevereiro de 2007 a equipe da MECARO foi realizar testes no túnel de vento da NASA no centro de pesquisas na Califórnia EUA, cujos resultados comprovaram sua eficácia e sua segurança. Melhorias adicionais foram realizadas em parceria com as universidades japonesas de Tokyo e Kogakuin. Em abril de 2007 iniciaram a produção em larga escala. A MECARO registrou patentes no Japão, nos USA, na Coréia e no Brasil entre outros países (MURAKAMI, 2009).



CARACTERÍSTICAS QUE MELHORAM O DESEMPENHO DA TURBINA EÓLICA MAGNUS

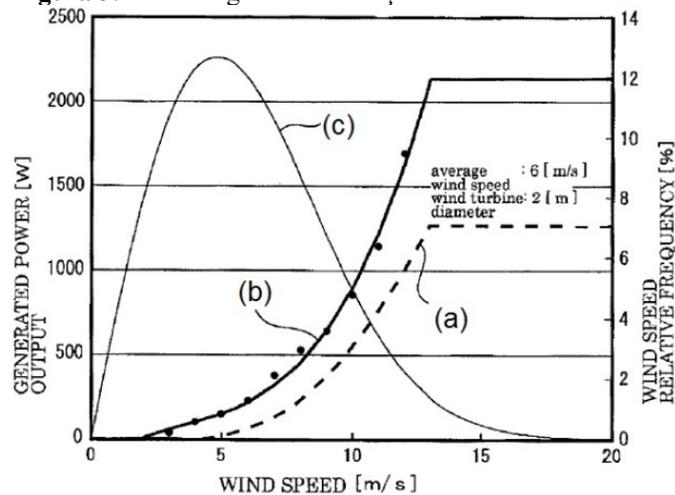
Murakami *et. al.* (MURAKAMI, 2009) apresentou as características que viabilizaram o funcionamento da turbina de efeito Magnus desenvolvida pela empresa MECARO. A barbatana em espiral com pelo menos duas entradas, disposta sobre a superfície do cilindro aumenta de forma determinante o efeito Magnus, como pode ser visto na Figura 2. A rotação do cilindro com barbatana deve girar no sentido que gere um fluxo de ar paralelo ao cilindro. Este fluxo de ar deve ser no sentido da extremidade para o eixo central da turbina, pois proporciona um aumento significativo do efeito Magnus, comprovado experimentalmente. Devido a presença da barbatana em espiral o torque resultante é aumentado e pode chegar até a 4 vezes o torque resultante de um cilindro sem barbatana (MURAKAMI, 2009).

Duas outras características relevantes do conceito de turbina Magnus de Murakami são os discos (*end cap*) de diâmetro maior que o cilindro girante e um conjunto de pás, formando uma espécie de cata-vento, disposto ao redor da extremidade externa dos cilindros. Estes dois dispositivos também contribuem de forma significativa no aumento do efeito Magnus.

A patente de Murakami (2009) apresenta o torque produzido por um cilindro girante a 1080 RPM e suas variações devido às características dos perfis dos cilindros. Pode-se constatar que a presença da barbatana em espiral, proporciona um aumento significativo de torque.

A Figura 3 apresenta os resultados experimentais obtidos ao ar livre na prefeitura de Akita no Japão, local onde a velocidade média anual dos ventos é de 6 m/s. Estas informações foram extraídas da patente de invenção registrada no Brasil em 2004 pela MECARO. A curva (a) é referente à potência gerada por uma turbina eólica convencional com 2 m de diâmetro.

Figura 3: Potência gerada em relação a velocidade do vento.



Fonte: Murakami, 2009.



A curva (b) é referente a potência gerada por uma turbina eólica de Efeito Magnus com características já descritas nesta seção, também com 2 m de diâmetro. Pode-se constatar que a turbina Magnus apresentou um desempenho superior à turbina convencional, iniciando em velocidades ainda menores e gerando maior potência em toda faixa de velocidade dos ventos. A curva (c) é referente à distribuição de Rayleigh da velocidade média anual dos ventos no local do experimento, a prefeitura de Akita, Japão.

Bychkov (2008) na Rússia realizou experimentos com protótipos de turbinas de efeito Magnus em um túnel de vento de seção transversal 3,6 por 3,6 m. Os protótipos possuíam diâmetros entre 1,3 a 2,0 m, com número de cilindros entre 3 a 6 unidades, cujos diâmetros eram de 5 e 6 cm. Aplicou rotação nos cilindros até 8000 RPM. Os experimentos concluíram que uma turbina eólica de efeito Magnus otimizada deve ter $N = 6$ cilindros, o comprimento do cilindro deve ser 15 vezes seu diâmetro (BYCHKOV, 2008). Além disso, constatou-se que a turbina Magnus mesmo em velocidades de vento de 2 m/s apresenta um coeficiente de potência não menor que $C_p = 0,43$, considerando-se que as turbinas convencionais geralmente não operam abaixo dos 4 m/s. Com isso consegue-se captar mais energia dos ventos ao longo de um período de tempo. A turbina pode ser operada também para velocidades maiores que 35 a 40 m/s de vento, bem superiores ao limite de turbinas convencionais que é de 25 m/s.

Sun et. al. (2012) realizaram e validaram com dados experimentais as simulações numéricas 3D de perfis cilíndricos de turbinas de efeito Magnus (SUN, 2012)(ZHUANG, 2012). Utilizaram o software comercial CFD (*Computation Fluid Dynamics*), o CFX da ANSYS^R. O perfil de formato cônico truncado apresentou o maior coeficiente de potência líquido C_p entre os 6 perfis simulados. Dentre os perfis que são cilíndricos lisos, o perfil que possui a maior razão entre o comprimento e o diâmetro, apresentou o maior valor de C_p . Os perfis ondulados reduzem consideravelmente a vibração e a força de arrasto, apesar de apresentarem os menores valores de C_p . Além disso, as simulações apontaram que o número ideal de cilindros é de $N = 6$ e a razão entre o comprimento e o diâmetro dos cilindros deve ficar entre 14 e 15 para um desempenho otimizado da turbina (LUO, 2011) (BYCHKOV, 2007) (BYCHKOV, 2008).

MODELO DA TURBINA DE EFEITO MAGNUS

A Figura 4 ilustra uma turbina eólica de efeito Magnus, onde:

N = número de cilindros em rotação;

R_1 = raio da turbina [m];



Ω_1 = velocidade angular da turbina [rad/s];

R_2 = raio dos cilindros [m];

Ω_2 = velocidade angular dos cilindros [rad/s];

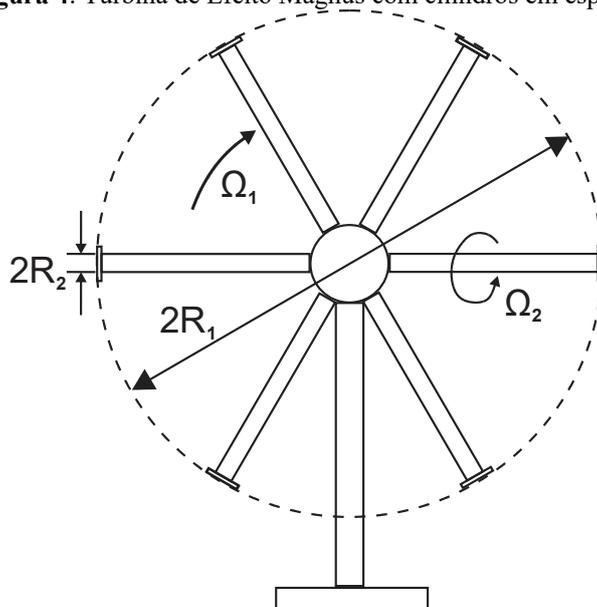
U_∞ = velocidade laminar do vento [m/s];

ρ = densidade do ar [kg/m^2].

A razão entre a velocidade tangencial da turbina e a velocidade real do vento é conhecida como *TSR (Tip-Speed-Ratio)* da turbina Magnus, cuja expressão é (2):

$$\lambda_1 = \frac{\Omega_1 \cdot R_1}{U_\infty} \quad (2)$$

Figura 4: Turbina de Efeito Magnus com cilindros em espiral.



Fonte: Autoria própria, 2014.

A expressão da velocidade relativa do cilindro girando em relação à velocidade do vento é definida pela equação (3):

$$\lambda_2 = \frac{\Omega_2 \cdot R_2}{U_\infty} \quad (3)$$

A razão entre comprimento e raio dos cilindros é fornecida pela equação (4):



$$A = \frac{R_1}{2.R_2} \quad (4)$$

A equação analítica (5) é referente ao coeficiente de potência C_P da turbina eólica de efeito Magnus e foi obtida com base nos princípios da dinâmica dos fluidos e da teoria da quantidade de movimento (momento) do elemento pá (*BEM – Blade Element Momentum Theory*) (LUO,2012). Portanto, a equação (5) relaciona o C_P com a potência mecânica P :

$$C_P = \frac{P}{0,5.\rho.U_\infty^3.\pi.R_1^2} = \frac{N.\Omega_1.\Omega_2.R_2^2}{U_\infty^2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2.N.\Omega_1.\Omega_2.R_2^2}{U_\infty^2}}\right) \quad (5)$$

O valor limite do coeficiente de potência para turbinas eólicas de efeito Magnus é $C_P=0,593$. Modificando-se a equação (5), baseado em valores de C_P obtidos experimentalmente, obtêm-se a equação (6) que representa o modelo mais próximo da realidade (LUO, 2012).

$$C_P = \frac{P}{\rho.U_\infty^3.\pi.R_1^2} = \frac{N.\Omega_1.\Omega_2.R_2^2}{2.U_\infty^2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2.N.\Omega_1.\Omega_2.R_2^2}{U_\infty^2}}\right) \quad (6)$$

Considerando-se $\sigma_T = 2.N.R_2/(2.\pi.R_1)$ a equação (6) pode ser reescrita como:

$$C_P = \frac{\pi.\sigma_T.\lambda_1.\lambda_2}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \pi.\sigma_T.\lambda_1.\lambda_2}\right) \quad (7)$$

Utilizando-se a equação (7) traçam-se as curvas do coeficiente de potência C_P da turbina eólica de Efeito Magnus na Figura 5, com os valores da Tabela 1. As curvas apresentadas e obtidas através da equação analítica (7) dizem respeito a eficiência da turbina na conversão de energia eólica para mecânica.

Tabela 1: Parâmetros da Turbina Magnus.

Parâmetro	Descrição	Valor
N	Número de cilindros	5
A	Relação R_1 e R_2	20
σ_T	<i>Rotor Solidity</i>	0.04
λ_1	<i>TSR Tip Speed Ratio</i>	0.5, 1.0, 1.5, 2.0
λ_2	Veloc. relativa do cilindro	0 a 10

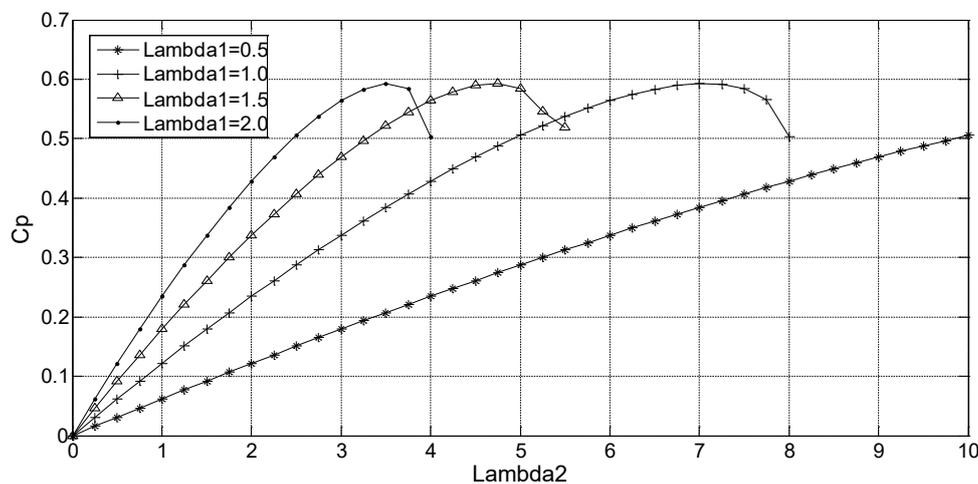
Fonte: Autoria Própria, 2016.

Pode-se concluir que o aumento da rotação dos cilindros da turbina Magnus proporciona um aumento no C_P até o limite de Betz, cujo valor é 0,593 e a partir deste ponto faz decrescer o C_P e conseqüentemente a potência.



Pela observação da equação (6) que relaciona C_p com a potência, pode-se afirmar que a partir do limite de Betz o aumento na potência depende do aumento na velocidade do vento U_∞ e/ou do raio da turbina R_1 .

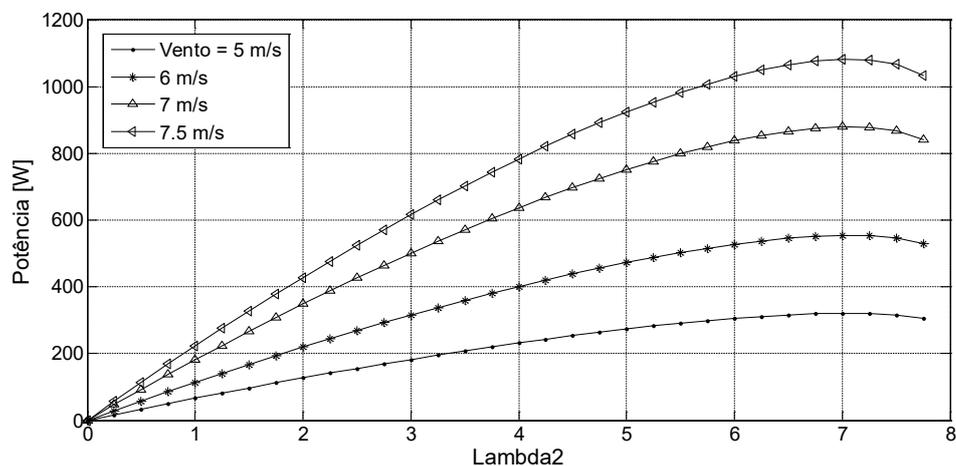
Figura 5: Coeficiente de Potência da Turbina Magnus.



Fonte: Autoria Própria, 2014.

Aplicando-se na equação (7) os mesmos valores anteriormente utilizados de N , A , σ_T da Tabela 1, mas escolhendo-se $\lambda_1 = 1$ e raios da turbina $R_1 = 1.5$ m obtêm-se as curvas da Figura 6.

Figura 6: Potência mecânica da Turbina x Velocidade do vento.



Fonte: Autoria Própria, 2014.

As curvas representam as potências mecânicas teóricas para 4 velocidades de ventos variando-se as rotações dos cilindros. Um vento de 7,5 m/s ultrapassaria teoricamente a potência de 1 kW para uma turbina com estas dimensões. Também se destaca o fato de que o aumento de λ_2 , ou seja, da velocidade de rotação relativa dos cilindros, com vento constante, acima do valor que resulta no limite máximo de C_p , a potência começar a decrescer.



CONCLUSÕES

A turbina eólica de efeito Magnus tem a vantagem de operar em faixas de velocidade de vento inferiores e superiores quando comparado com as turbinas convencionais de 3 pás. Portanto, em um determinado período de tempo pode captar mais energia que uma turbina convencional.

O perfil dos cilindros girantes com barbatanas e tampas circulares com diâmetro maior que os cilindros na extremidade oposta ao eixo principal desenvolvido pela empresa MECARO viabilizou comercialmente a turbina Magnus.

Apresentou-se um modelo matemático para as turbinas eólicas de efeito Magnus validadas através de simulações e melhoradas através de dados experimentais.

Simulações numéricas e experimentais em túnel de ventos apontam que para o número ideal de cilindros é $N = 6$, a relação entre comprimento e raio do cilindro deve ficar entre 14 a 15. Estes valores melhoram significativamente o desempenho da turbina.

REFERÊNCIAS

BYCHKOV, N.; DOVGAL, A.; KOZLOV, V. “Magnus wind turbine as an alternative to the blade ones”. *Journal of Physics: Conference Series* 75, 2007.

BYCHKOV, N.; DOVGAL, A.; SOROKIN, A. “Parametric Optimization of the Magnus wind turbine” *International Conference on Methods of Aerophysical Research, ICMAR 2008*.

BYCHKOV, N. M. “Magnus wind turbine, calculated characteristics of the wind wheel”. *Thermophysics and Aeromechanics*, Vol.15 no2, 2008.

JINBO, M. “Contribuições ao Projeto de Sistemas Eólicos de Efeito Magnus com Rastreamento da Potência Máxima”. Tese (Doutorado em Eng. Elétrica), PPGEE UFSM, Santa Maria - RS, 2016.

LUO; D.; HUANG, D; WU, G. “Analytical solution on Magnus wind turbine power performance based on the blade element momentum theory”. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 3, 2011.

MURAKAMI, N.; et. al. “Magnus Type Wind Power Generator”. United States Patent. US7.504.740 B2. March, 17, 2009.

SUN, X.; et. al. “A three-dimensional numerical study of the Magnus wind turbine with different blade shapes”. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 4, 2012.

ZHUANG, Y.; et. al. “Numerical study on aerodynamic performances of the wind turbine rotor with leading-edge rotation. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 4, 2012.



CAPÍTULO 12

EFICIÊNCIA DA PLATAFORMA EPAGRITEC COMO FONTE DE INFORMAÇÕES TÉCNICAS NA ÁREA AGRÍCOLA

Rafael Gustavo Ferreira Morales

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a efetividade do uso da plataforma Epagritec como fonte de informações técnicas para resolução de problemas na área agrícola. O estudo foi realizado com voluntários distribuídos em quatro grupos: grupos A e B formados por agrônomos e técnicos agrícolas; e grupos C e D, formado por pessoas leigas e sem conhecimento na área agrônômica. Os grupos A e C usaram apenas a plataforma Epagritec como fonte de consulta técnica; e os grupos B e D, orientados a buscar as respostas da forma que fosse o mais conveniente (livros, internet, etc). Os voluntários responderam cinco questões no formato de caixa de seleção. As questões tinham diferentes graus de dificuldade, bem como questões com demandas de ordem visual. Os dados de assertividade foram tabulados considerando apenas duas possibilidades (correta e incorreta) e a diferença entre os grupos foi estimada pelo teste de associação qui-quadrado ($p < 0,05$). Na questão classificada como de fácil resolução, a assertividade foi igual entre técnicos e leigos quando ambos os grupos usaram o Epagritec. Esse fato foi corroborado na questão de dificuldade intermediária, em que 70% dos técnicos e 75% dos leigos, ambos usando o Epagritec, tiveram uma assertividade superior aos observados sem o uso da plataforma. Contudo, na questão de alta complexidade não houve diferença entre os quatro grupos. Com base nestes resultados pode-se concluir que o uso da plataforma Epagritec aumenta a assertividade de questões da área agrônômica, inclusive quando usada por pessoas leigas na área agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: aplicativo de celular, plantas de cobertura, sistema de informações, tecnologia da informação.

INTRODUÇÃO

A plataforma Epagritec é um acervo de informações técnicas que foi desenvolvida pela Epagri, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, para facilitar aos técnicos de campo a difusão e a busca do conhecimento agropecuário catarinense, deixando ao alcance de todos o que há de mais atual nas principais culturas agrícolas, nas criações e nos principais sistemas produtivos.

Dentre as vantagens da plataforma Epagritec, pode-se destacar: possibilidade de integração entre diferentes temas e técnicos (conhecimento em rede); acesso via celular, mas também pode ser acessado em computador de mesa; possibilita a visualização de fotos, vídeos e arquivos em anexo, que facilitam a compreensão sobre cada tema; possui menos de 2 Mb de tamanho para instalação; conteúdo técnico hospedado na nuvem, dispensando a sobrecarga de



arquivos no celular ou atualizações; não necessita login e senha a cada acesso; ausência de propagandas e cookies; e serviço 100% gratuito.

Apesar das diversas vantagens supracitadas que um sistema integrado e robusto de informações pode oferecer, antes da ampla divulgação e difusão do sistema, há a necessidade de validar o uso da ferramenta com técnicos e usuários não especialistas. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar a efetividade do uso da plataforma Epagritec como fonte de informações técnicas para resolução de problemas no tema plantas de cobertura.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Estação Experimental da Epagri de Itajaí (EEI), com 87 voluntários de vários municípios do Estado de Santa Catarina, distribuídos em quatro grupos, com o seguinte perfil:

Grupo A, com 20 voluntários, formado por agrônomos e técnicos agrícolas que usaram apenas a plataforma Epagritec como fonte de consulta técnica;

Grupo B, com 25 voluntários, formado por agrônomos e técnicos agrícolas orientados a buscar as respostas da forma que fosse o mais conveniente (livros, internet, etc);

Grupo C, com 20 voluntários, formado por pessoas leigas sem conhecimento na área agrônômica e que usaram apenas a ferramenta Epagritec como fonte de consulta das informações técnicas; e

Grupo D, com 22 voluntários, formado por pessoas leigas e sem conhecimento na área agrônômica e orientados a buscar as respostas da forma que fosse o mais conveniente (livros, internet, etc).

Os grupos C e D foram formados por pessoas com diferentes formações, como assistente social, extensionista social, nutricionista, analista de sistemas, administrador tecnólogo em gestão ambiental, geógrafo, engenheiro de produção e civil, educador físico, administrador público, advogado, engenheiro de aquicultura, jornalista, farmacêutico industrial, engenheiro de alimentos, químico industrial de alimentos, biólogo, socióloga, cirurgiã dentista, bem como pessoas que tinham apenas o ensino médio completo.

O tema escolhido para a validação do sistema foi “plantas de cobertura”, pois é um tema atual na agricultura catarinense, devido à crescente procura por parte dos técnicos por informações de manejo do solo, como é o caso do plantio direto.



Cinco questões foram elaboradas com a finalidade de determinar a eficiência do uso da plataforma Epagritec como fonte de informações técnicas.

Questão 1 (Q1): exigia pouco conhecimento técnico na área, trazendo como alternativas culturas comumente encontradas no meio agrícola, sendo classificada como de fácil resolução.

Pergunta: Assinale apenas as plantas com potencial de uso como planta de cobertura de solo para o inverno.

Alternativas de resposta: Aveia; Azevém; Milho; Canola; Feijão de Porco; Milheto; e não sei a resposta.

Questão 2 (Q2): exigia médio conhecimento técnico e tinha como alternativas as mais variadas espécies de culturas, algumas delas pouco conhecidas, sendo classificada como de média dificuldade de resolução.

Pergunta: Um agricultor busca uma planta de cobertura para cultivo em meados de junho, que seja tolerante a geada, pois se trata do cultivo numa região com inverno rigoroso, que seja leguminosa, para incrementar o nitrogênio do solo e que possua tolerância a solo ácido, que é uma característica do solo da propriedade. Identifique uma ou mais plantas que apresentem as características mencionadas e que poderiam ser indicadas ao agricultor para cultivo.

Alternativas de resposta: Amendoim forrageiro; Ervilhaca comum; Guandu anão; Trevo doce; Mucuna verde; Soja perene; Serradela; Tremoço Amarelo; nenhuma das alternativas; e não sei a resposta.

Questão 3 (Q3): exigia elevado grau de conhecimento técnico na área e tinha como alternativas as mais variadas espécies de culturas, algumas delas pouco conhecidas, sendo classificada como de difícil resolução.

Pergunta: Num cultivo de verão, num pomar de produção de uvas, um agricultor precisa de opções de plantas de cobertura de solo. Contudo, pensando no manejo cultural, ele quer saber apenas de espécies de crescimento determinado, pois não quer ter o problema de crescimento vegetativo das plantas de cobertura sobre a estrutura de tutoramento das videiras, característica típica de plantas que possuem o hábito de crescimento trepador. Adicionalmente, ele quer que a planta seja uma leguminosa. Quais das plantas abaixo atenderia o agricultor em questão.

Alternativas de resposta: Crotalaria juncea (Crotalaria juncea); Feijão Caupi (Vigna unguiculata); Feijão de Porco (Canavalia ensiformis); Girassol (Helianthus annuus); Lab Lab



(Lablab purpureus); Soja perene (Neonotonia wightii); nenhuma das alternativas anteriores; e não sei a resposta.

Questão 4 (Q4): tinha como base uma imagem (Figura 1) de uma semente cadastrada no sistema e que o usuário poderia confirmar a espécie com o uso da plataforma.

Pergunta: A semente da imagem abaixo pertence a qual planta de cobertura?

Alternativas de resposta: Ervilha forrageira (Pisum sativum); Mucuna Preta (Mucuna aterrima); Calopogônio (Calopogonium mucunoides); Canola (Brassica napus); Chícharo (Lathyrus sativus); Centrosema (Centrosema pubescens); Crotalaria juncea (Crotalaria juncea); Flemingia (Flemingia macrophylla); Crotalaria retusa (Crotalaria retusa); Espergula (Spergula arvensis); e Não sei a resposta.

Figura 1: Imagem utilizada na questão quatro e que era possível obter a resposta correta utilizando a plataforma Epagritec.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Questão 5 (Q5): tinha como base uma imagem (Figura 2) de uma planta em que não há cadastro no sistema e que não era possível responder a questão usando unicamente a plataforma Epagritec.

Pergunta: Qual é a planta de cobertura em questão?

Alternativas de resposta: Ervilha forrageira (Pisum sativum); Mucuna Preta (Mucuna aterrima); Calopogônio (Calopogonium mucunoides); Canola (Brassica napus); Chícharo (Lathyrus sativus); Centrosema (Centrosema pubescens); Crotalaria juncea (Crotalaria juncea); Flemingia (Flemingia macrophylla); Crotalaria retusa (Crotalaria retusa); Espergula (Spergula arvensis); e não sei a resposta.



Figura 2: Imagem utilizada na questão cinco e que não estava cadastrada no sistema, o que impossibilitava a resposta correta utilizando unicamente a plataforma Epagritec.



Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Starr_061128-9001_Centrosema_molle.jpg Erro! A referência de hiperlink não é válida. 2022. Foto: Forest & Kim Starr.

Foi avaliada a assertividade das respostas tendo como base perguntas de ordem prática. As respostas estavam no formato de caixa de seleção, o que possibilitava a escolha de uma ou mais alternativas. Cada questão teve um perfil, como descrito a seguir:

- Questão 1 (Q1): exigia pouco conhecimento técnico na área, trazendo como alternativas culturas comumente encontradas no meio agrícola, sendo classificada como de fácil resolução.

- Questão 2 (Q2): exigia médio conhecimento técnico e tinha como alternativas as mais variadas espécies de culturas, algumas delas pouco conhecidas, sendo classificada como de média dificuldade de resolução.

- Questão 3 (Q3): exigia elevado grau de conhecimento técnico na área e tinha como alternativas as mais variadas espécies de culturas, algumas delas pouco conhecidas, sendo classificada como de difícil resolução.

- Questão 4 (Q4): tinha como base uma foto de uma semente cadastrada no sistema e que o usuário poderia confirmar a espécie com o uso da plataforma.

- Questão 5 (Q5): tinha como base uma foto de uma planta em que não há cadastro no sistema e que não era possível responder a questão usando unicamente a plataforma Epagritec.

Os dados de assertividade foram tabulados considerando apenas duas possibilidades (correta e incorreta), para cada questão e para o total delas, gerando um quadro de variáveis dependentes qualitativas nominais (não pareados). A probabilidade (p-valor) de a diferença ser significativa dentro dos grupos foi estimada pelo teste de associação qui-quadrado a 5% de



probabilidade de erro. O teste qui-quadrado foi aplicado aos valores absolutos observados e, na apresentação dos resultados, optou-se em expor os valores percentuais para facilitar a visualização.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A diferença percentual observada entre os grupos foram estatisticamente significativas nas questões Q1 ($p=0,0002$), Q2 ($p=0,0000000003$), Q4 ($p=0,0003$) e Q5 ($p=0,00002$), não diferindo apenas na Q3 ($p= 0,63$).

Na questão classificada como de fácil resolução (Q1), a assertividade das questões foi igual entre técnicos e leigos quando ambos os grupos usaram o aplicativo (Tabela 1). Nesta questão trabalhava-se com a hipótese de que técnicos com o uso da plataforma Epagritec teriam maior assertividade quando comparado ao grupo de leigos. Contudo, a ausência dessa diferença indica um baixo nível de conhecimento dos técnicos no tema escolhido (plantas de cobertura) e que, nestes casos, o uso da plataforma Epagritec pode suprir a demanda técnica de qualquer perfil de usuário, independente da sua formação. Esse fato foi corroborado na Q2, em que 70 % dos técnicos e 75% dos leigos, ambos usando a plataforma Epagritec, tiveram uma assertividade muito superior aos observados sem o uso da plataforma (Tabela 1).

Na questão classificada como de alto grau de complexidade (Q3) não houve diferença significativa entre os quatro grupos ($p= 0,63$) (Tabela 1), sendo que, em todos eles, a assertividade foi muito baixa. Isso indica que o técnico que se deparar no campo com questões complexas, mesmo que use a plataforma Epagritec ou busque a resposta por outros meios, poderá fazer uma recomendação equivocada ou inexata.

Quanto à busca de respostas por meio de demandas visuais, quando no sistema Epagritec estava cadastrado o conteúdo (Q4), a efetividade de uso da plataforma ficou muito evidente, tanto para técnicos, em que 70% deles identificaram corretamente a planta e acertaram a questão, quanto para leigos, com 60% de acerto, sem diferença significativa entre os dois grupos (Tabela 1). Por outro lado, apenas 36% dos técnicos que usaram os meios convencionais de busca do conhecimento acertaram a questão, não diferindo neste caso dos leigos que usaram o Epagritec ($p= 0,1088$) (Tabela 1). Quando a demanda visual não tinha correspondência no sistema e não era possível responder a questão usando unicamente a plataforma Epagritec (Q5), os dois grupos que usaram a plataforma, bem como os leigos sem a plataforma, tiveram baixa assertividade. Isso indica que o uso unicamente do Epagritec pode ser insuficiente caso a imagem não esteja pré-cadastrada no sistema.



Ao somar a assertividade das cinco questões, formando um total geral, pode-se observar a mesma tendência observada na Q4, com uma superioridade dos usuários do Epagritec, tanto para os técnicos, com 43% de acertos, quanto de leigos, com 42% de acertos, não havendo diferença estatística entre os dois grupos ($p=0,89$). Apesar dos leigos que usaram o Epagritec terem acertado 12% a mais de questões do que técnicos que não usaram a plataforma, a diferença não foi significativa a 5% ($p=0,07$).

Disponibilizar um sistema de informações que possibilite o acesso via celular é um passo importante para a assistência rural catarinense e atualmente se mostra plenamente viável. A busca por informações por parte do agricultor não é diferente, uma vez que, no ano de 2018, 77% dos usuários do meio rural acessaram a internet via celular, 3% pelo computador e 20% em ambos os meios (CETIC, 2018). Assim, a plataforma Epagritec poderá atender a um anseio recente do meio rural, que a cada dia que passa busca mais informações nos aplicativos de celular, bem como dar suporte a técnicos que não tem profundo conhecimento no tema.

Tabela 1: Assertividade de cinco questões sobre o tema plantas de cobertura por quatro grupos, formado por técnicos e leigos da área agrônômica, que usaram como base de consulta a plataforma Epagritec e outros meios de consulta (livros, internet etc).

GRUPOS											Total	
	Q1**		Q2		Q3		Q4		Q5		Geral	
A - Técnicos COM o Epagritec	65%	a*	70%	a	5%	a	70%	a	5%	b	43%	a
B - Técnicos SEM o Epagritec	40%	a	4%	b	8%	a	36%	b	64%	a	30%	b
C - Leigos COM o Epagritec	60%	a	75%	a	5%	a	60%	ab	10%	b	42%	ab
D - Leigos SEM o Epagritec	5%	b	0%	b	0%	a	9%	c	23%	b	7%	c

*Valores percentuais seguidos pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste qui-quadrado a 5% de probabilidade de erro. Teste qui-quadrado aplicado em valores absolutos observados.

**Q1 a Q5 = Questões de 1 a 5.

Fonte: Autoria própria, 2022.

CONCLUSÃO

O uso da plataforma Epagritec aumenta a assertividade de questões técnicas, inclusive quando usada por pessoas consideradas leigas na área agrícola, compondo um novo e importante meio para consulta a informações na área agrícola.



REFERÊNCIAS

CETIC. Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nos domicílios brasileiros : TIC domicílios 2018 = Survey on the use of information and communication technologies in brazilian households : ICT households 2018 [livro eletrônico] / Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR, [editor]. -- São Paulo : Comitê Gestor da Internet no Brasil, 2019.



CAPÍTULO 13

APROVEITAMENTO DE PÓ DE MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Giovanna Raizer da Silva
Lucas Filipe Jorge Mioli
Sylma Carvalho Maestrelli

RESUMO

O crescimento populacional e a industrialização trouxeram como consequência o aumento de resíduos, como óleos, cinza, pedras e sobras de madeira, outro fator que proporcionou neste aumento foi o setor moveleiro, que tem como principal resíduo o pó de madeira. Desde a Segunda Guerra Mundial, pesquisadores tentam desenvolver maneiras de utilizar resíduos da madeira de forma ecológica, pois o descarte de maneira inadequada pode trazer altos risco a saúde e ao meio ambiente. A madeira é um compósito renovável que ao se utilizar na construção civil traz enormes consequências benéficas, principalmente quanto está em forma de pó, pois pode ser acrescentado em agregado miúdo na produção de concreto, painéis de cimento madeira, blocos, forros, elementos de vedação e de alvenaria. Ao se utilizar na construção civil blocos de concreto com pó de madeira os custos, impactos ambientais e desperdícios são minimizados, além de aumentar a velocidade da obra e torná-la mais segura, pois o pó faz com que o concreto seja mais resistente aos ataques por fungos e insetos, ademais por serem termo isolantes aumentam a resistentes ao fogo. Dado o exposto anterior, o presente trabalho consistiu em realizar uma revisão bibliográfica relacionada à utilização dos resíduos de madeira, mais especificamente o pó de madeira, na construção civil. Ainda, foi realizado um levantamento bibliográfico voltado para a utilização de pó de madeira em cimento e argamassas, incluindo-se as principais definições dentro do setor e da temática estudada.

PALAVRAS-CHAVE: Construção civil, pó de madeira, compósitos, resíduos.

INTRODUÇÃO

Segundo o Censo 2010, o crescimento populacional, teve um aumento de 12,5% em 10 anos, trazendo como consequência o aumento no consumo de energia, de produtos e matérias primas, o que consequentemente aumentou a geração de resíduos.

De acordo com Bocchini (2020), a quantidade de resíduos sólidos urbanos destinados inadequadamente no Brasil cresceu 16% na última década. O montante passou de 25,3 milhões de toneladas por ano em 2010 para 29,4 milhões de toneladas por ano em 2019. Assim, estudos envolvendo fontes renováveis e não renováveis cresceram na tentativa de diminuir a crise ambiental, buscando soluções dentro do contexto.

Da necessidade de um consumo consciente e da diminuição de desperdício, sugeriram propostas inovadoras, sendo uma delas desenvolvida pelo governo alemão, conhecido como indústria 4.0, que promete maior eficácia operacional, ganhos de produtividade, crescimento, e



melhoria da competitividade, bem como o desenvolvimento de novos modelos de negócios, serviços e produtos (KAGERMANN et al.,2013; KAGERMANN, 2014 apud SANTOS et al. 2018).

É notório que o mundo está se reinventando e se inovando em decorrência das necessidades que vão surgindo, a construção civil também sentiu a necessidade de melhorias. Apesar da crise devido à pandemia, a construção civil é um setor em expansão. A necessidade por parte do mercado de novos produtos que apresentem propriedades cada vez melhores tem estimulado a investigação focada na aplicação de novos materiais. A busca constante por soluções inovadoras envolvendo materiais de construção é estimulada pelo mercado visando melhorias relacionadas a desempenho, custos e prazos de execução.

A madeira é um material compósito, utilizado para os mais diversos fins, dos quais pode-se destacar: postes, assoalhos, forros e principalmente produção de objetos de decoração. A madeira tem como principais vantagens ao utilizá-la na construção civil a reciclagem de resíduos, material renovável, ajuda na geração de renda das comunidades Amazônica, do Cerrado e Mata Atlântica e captura e retém carbono.

Comparada ao alumínio, responsável por 47% da emissão de carbono no perímetro urbano, a madeira também apresenta alta resistência a tração e compressão (CASTILHO, 2017), entretanto, a utilização de seus resíduos na forma de pó de madeira é uma área de pouco conhecimento e considerado um problema nas indústrias madeireiras e marcenarias. por conta da grande dificuldade de decomposição.

Segundo Hillig et al. (2006), em 30 empresas analisadas, cerca de 27% a 37% dos resíduos de madeira são perdidos. Outro dado levado em consideração é do IBAMA, que informa que somente 30% a 60% da madeira extraída é aproveitada; ou seja, a geração de resíduos de madeira, tal como o pó de madeira, é muito alta; além disso, muitas vezes esses resíduos são descartados em rios, trazendo grande impacto ambiental.

Dado o exposto anterior, este trabalho buscou fazer um levantamento bibliográfico acerca do potencial de utilização de resíduo de madeira (sob a forma de pó) no setor de construção civil. Para isso foi feita uma pesquisa a respeito dos produtos oriundos da inserção do pó de madeira em argamassas, concretos e outros materiais do setor da construção civil, bem como das suas características, propriedades e benefícios decorrentes da criação desses novos materiais sob o ponto de vista socioeconômico e ambiental.



JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A utilização de diversos tipos de resíduos na construção civil tem como principal vantagens o uso sustentável, com isso minimiza-se os danos ambientais de tal forma que haja redução no desperdício de recursos naturais, onde o Planeta é o principal fornecedor, ainda mais no caso da indústria madeireira e da construção civil.

Ademais podem ser acrescentadas as vantagens ecológicas, isto é, conforme estudos, a utilização do pó de madeira em concretos e argamassas tem como finalidade o barateamento do custo da obra, devido às suas propriedades que podem substituir parcialmente ou totalmente o agregado miúdo (BARUTTI, 2019).

A madeira possui diversas características que beneficiam a construção civil; entre elas pode-se destacar a resistência ao apodrecimento e ao fogo, além de ser um excelente isolante acústico e térmico. Suas propriedades mecânicas também são de grande importância; a madeira é um material anisotrópico, ou seja, são muito resistentes devido a variação de densidade e suas fibras, nós, rachaduras. Além disto, segundo Lashin et al. (2021) a utilização de madeira em concreto é vantajosa pois tem baixa densidade e a alta porosidade o que torna um material ideal para desenvolver produtos leves.

O pó de madeira é originado a partir de processos de descarte de resíduos do setor madeireiro, mais especificamente do setor moveleiro. Com base em estudos, a Universidade Federal de Minas Gerais definiu que uma chapa de MDF, com 1,5 cm de espessura, 183 cm de largura e 275 cm de comprimento, gera aproximadamente 1kg de pó, observou-se ainda que somente em Belo Horizonte, as indústrias moveleiras gerem 300 toneladas de resíduo ao mês em 2019. (ESPÍNDOLA, 2019)

De acordo com Barutti (2019), uma serraria de médio porte (produção aproximada de 2000 m³ de madeira serrada por mês) gera até 78 toneladas de serragem. No cenário nacional, a produção chega a 620.000 toneladas por ano de serragem.

A utilização de pó de madeira na construção civil pode ocorrer por meio da adição dele nos seguintes produtos: em painéis e blocos de concreto, em divisórias, paredes internas e no preenchimento de forros e lajes. Com isso, tende-se a ter uma redução de desperdício de recursos naturais, reciclagem de resíduos sólidos e um aumento no lucro do construtor por ser um material de baixo custo.



COMPÓSITOS: DEFINIÇÃO E ORIGEM

O compósito pode ser considerado como um material multifásico no qual as propriedades desse compósito são função das propriedades de seus constituintes.

Segundo Maccari e Deluca (2021) com o atual desenvolvimento tecnológico observa-se cada vez mais o engrandecimento de materiais cuja combinação de propriedades pode levar a um produto que substitua outros materiais com vantagens.

Quando um material é preparado usando materiais de natureza distinta é denominado compósito, logo, podem ser encontrados na natureza ou sintetizados. A partir dessa definição fica evidente a infinidade de estruturas e instrumentos que podem ser desenvolvidas com compósitos (MACCARI; DELUCA, 2021).

A síntese de materiais compósitos consiste em misturar compostos de naturezas distintas visando imprimir novas propriedades aos materiais. Por ser um material multifásico, um compósito exibe além das propriedades inerentes de cada constituinte, propriedades intermediárias decorrentes da formação de uma região interfacial (MACCARI E DELUCA, 2021).

As fases dos compósitos são chamadas de matriz que pode ser cerâmica, polimérica e metálica e a fase dispersa (ou reforço) geralmente fibras ou partículas que servem como carga. Assim, cada vez mais, a fabricação de compósitos constitui um procedimento que pretende atingir valores ótimos de parâmetros como a forma, massa, força, durabilidade, rigidez, custos (MACCARI E DELUCA, 2021).

A aplicação dos materiais compósitos surgiu inicialmente na área aeronáutica devido à necessidade de diminuição do peso, preservando a robustez dos componentes estruturais. Já a utilização dos materiais compósitos dentro da indústria automobilística é mais recente do que na área aeronáutica. O material compósito é utilizado para a fabricação de capôs, colunas de direção, árvores de transmissão, molas laminadas, painéis, para-choques entre outros (MACCARI E DELUCA, 2021).

COMPÓSITOS NATURAIS

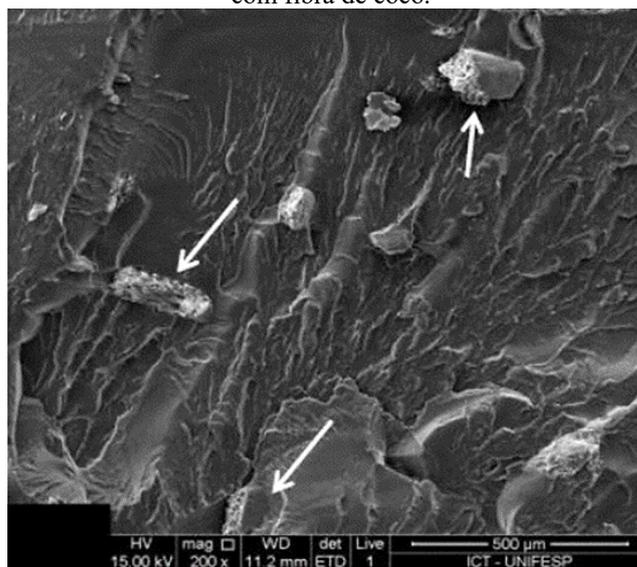
Os compósitos podem ser de origem natural; pode-se perceber que muitos dos materiais biológicos são compósitos, como, por exemplo, o tecido ósseo dos vertebrados, composto por uma estrutura mineral à base de cálcio, na qual estão dispostas proteínas de colágeno. As madeiras em que a matriz de lignina é reforçada com fibras celulósicas é outro exemplo. São



aplicadas em escala micro e nanométrica, no reforço de matrizes poliméricas, para melhoria de propriedades mecânicas e estabilidade térmica de materiais compósitos.

Na Figura 1 é possível observar, por meio da técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), o compósito de polietileno de baixa densidade com fibra de coco, onde as setas indicam as fibras presentes na micrografia.

Figura 1: Micrografia Eletrônica de Varredura (MEV) do compósito de polietileno de baixa densidade (LDPE) com fibra de coco.



Fonte: Adaptada de Wearn, Montagna e Passador (2020, p. 9).

COMPÓSITOS FABRICADOS PELO HOMEM

Os compósitos feitos pelo homem são desenvolvidos na indústria, como na aeroespacial, destacando-se a fabricação de aviões. Ainda no meio industrial, quando se utiliza um material compósito de modo a se buscar propriedades elétricas, magnéticas, térmicas e ópticas desejadas, esse material recebe a denominação de um compósito funcional (SILVA, 2021).

Já Jones (1999) parafraseado em Bessa (2017), afirma que os materiais compósitos fabricados pelo homem também são muito comuns e apresentam um longo histórico de uso. Sua origem exata é desconhecida; porém, ao longo da história, existem diversas referências a formas de compósito. A tecnologia de fabricação de materiais compósitos progrediu de tijolos reforçados com palha - uma das primeiras evidências de compósitos fabricados pelo homem, feitos pelos israelitas - para compósitos produzidos principalmente a partir de matrizes poliméricas reforçadas com fibras, empregadas, por exemplo, em aviões e materiais esportivos.

De acordo com Maccari e Deluca (2021) a classificação de materiais compósitos, que os caracteriza como fibrosos ou particulados, em que os fibrosos são separados por uma única



camada, podendo ser fibras contínuas ou descontínuas, as fibras contínuas são repartidas em unidirecional e bidirecional, já as fibras descontínuas são divididas em orientação aleatória ou orientação preferencial, ademais sobram as de múltiplas camadas que são classificadas em laminados e híbridos. Os particulados que são divididos em aleatória e orientação preferencial.

Ainda assim podemos utilizar a classificação de Guedes (2019) onde os compósitos são classificados segundo sua fase dispersa em: particulados, reforçados por fibra e estrutural laminado.

COMPÓSITOS PARTICULADOS

Quando se trata especificamente de compósitos particulados, há diversos estudos com resultados para a resistência mecânica destes materiais, que pode ser influenciado por vários parâmetros, entre eles: tamanho, composição química, formato e distribuição das partículas, interface das partículas/matriz e dispersão das partículas (OLMOS et al., 2005 apud BESSA, 2017).

As partículas utilizadas na fabricação de compósitos podem ter formato esférico, cúbico, tetragonal ou qualquer forma regular ou irregular. Os compósitos particulados tendem a possuir muitas partículas aleatoriamente orientadas, denominadas agregados. Os compósitos particulados tendem a ser isotrópicos, ou seja, possuem as mesmas propriedades em todas as direções sendo assim, adequados para aplicações com carregamento tridimensional (NEWELL, 2010 apud BESSA, 2017).

De acordo com Callister (2006) citado em Bessa (2017), os compósitos particulados se dividem em compósitos com partículas grandes e compósitos fortalecidos por dispersão. A principal diferença entre essas subclassificações se baseia no mecanismo de reforço e aumento da resistência mecânica. O termo “grande” indica que as interações partícula-matriz não podem ser tratadas nos níveis atômico ou molecular.

As propriedades mecânicas dos compósitos podem ter melhorias mais significativas para o caso de compósitos reforçados por dispersão, nos quais as partículas são normalmente muito menores, tendo diâmetros entre 0,01 e 0,1 μm . O tamanho reduzido das partículas permite maior interação partícula-matriz que conduz ao fortalecimento do compósito, pois enquanto a matriz suporta a maior porção de uma carga aplicada, as pequenas partículas dispersas agem como uma barreira que impede o movimento das discordâncias, restringindo as discordâncias e aumentando a dureza e a resistência ao escoamento (CALLISTER, 2006 apud BESSA, 2017).



Um exemplo de compósito particulado seria o pneu, constituído por uma matriz elastômero e uma partícula negro de fumo (carbono) em que a (quantidade: 15 a 30%), a qual as partículas absorvem UV e aumentam resistência mecânica e cada uma mede de 20 a 50nm, mas se apresentam comumente de forma aglomerada.

COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRA

A humanidade usa compósitos reforçados com fibras há milhares de anos. Os exemplos incluem uso de palhas em tijolos, como nos reportam as Sagradas Escrituras, e crina de cavalo reforçando materiais cimentados. Desde então várias fibras foram utilizadas para fornecer ductilidade a materiais essencialmente frágeis (FIGUEIREDO, 2000).

Atualmente é grande a diversidade da utilização dos compósitos, na construção civil encontramos telhas, painéis de vedação vertical e estruturas de concreto como túneis e pavimentos, onde o concreto reforçado com fibras vem aumentando sua aplicação (FIGUEIREDO, 2000).

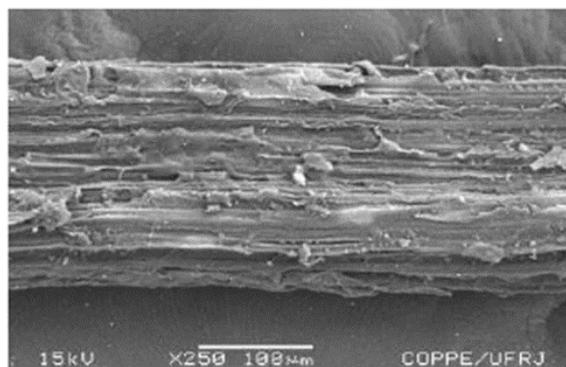
Os FRP (Polímeros reforçados com fibras) são materiais compostos basicamente por duas fases: a matriz e as fibras (filamento em que uma das dimensões é muito superior às outras duas), que podem assumir várias formas de acordo com a aplicação pretendida. Estas fibras fornecem basicamente duas características importantes ao material: tendem a reforçá-lo sobre todos os modos de carregamento que induzem tensões de tração, isto é, retração restringida, tração direta ou na flexão e cisalhamento, e, secundariamente, elas melhoram a ductilidade e a tenacidade de uma matriz frágil (FIGUEIREDO, 2000).

Materiais compósitos podem ocorrer de forma espontânea na natureza. A madeira é um compósito natural formado por fibras de celulose em uma matriz de lignina. As fibras de celulose possuem alta resistência à tensão, mas são muito flexíveis, enquanto a matriz de lignina fornece rigidez ao material e une as fibras, protegendo-as. (CHAWLA, 1987 apud BESSA, 2017).

Na Figura 2 podem ser vistas as fibras de curauá (fibras contínuas), parcialmente impregnada com resina poliéster, após descolar-se da matriz.



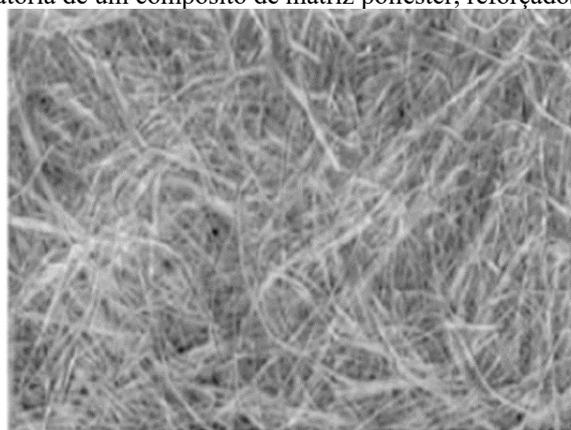
Figura 2: Fibras contínuas, onde ilustra as fibras de curauá, parcialmente impregnada com resina poliéster, após descolar-se da matriz.



Fonte: Monteiro et al. (2006, p. 202).

Na figura 3 observa-se a presença de fibras curtas de sisal colocadas aleatoriamente em um compósito de matriz poliéster.

Figura 3: Uma fibra aleatória de um compósito de matriz poliéster, reforçados por fibras curtas de sisal.



Fonte: Joseph, Medeiros e Carvalho (1999, p. 140).

COMPÓSITO ESTRUTURAL

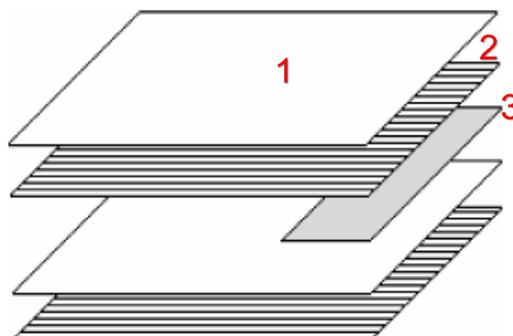
Os compósitos estruturais são divididos em dois principais, sendo eles os laminados e os painéis em forma de sanduíche.

Os materiais compósitos laminados constituídos por fibras de alta resistência, envoltas por uma matriz, possuem particular importância devido a inúmeras aplicações em Engenharia Aeronáutica, Mecânica e, mais recentemente, em Engenharia Civil. Fibras e matriz possuem características bastante distintas. As primeiras, geralmente feitas de boro, grafite, vidro ou carbono, exibem um comportamento praticamente elástico, enquanto a última, que na maioria dos casos é uma resina, exibe comportamento viscoelástico, fortemente dependente das condições ambientais (MOREIRA, 2008; GUEDES, 2019).



A Figura 4 ilustra um exemplo de um esquema de laminação dos compósitos termoplásticos, onde (1) é o tecido de fibra de carbono, (2) Poliamida, (3) Folha de alumínio (somente nos ensaios de mecânica de fratura).

Figura 4: Laminação dos compósitos termoplásticos submetidos ao processo de modelagem, onde (1) é o tecido de fibra de carbono, (2) Poliamida, (3) Folha de alumínio (somente nos ensaios de mecânica de fratura).



Fonte: Botelho e Rezende (2002, p. 156).

MADEIRA

Segundo Klock e Andrade (2013), a madeira é um material orgânico heterogêneo composta por 50% de Carbono, 46% de Oxigênio e 4% de hidrogênio, mas podendo conter alguns minerais em poucas quantidades como o Cálcio, Potássio e o Magnésio. Com células dispostas no sentido radial, tangencial e longitudinal, as variações físicas e anatômicas da madeira são grandes entre espécies e ainda mais na mesma espécie, devido a idade, de fatores genéticos e ambientais (BODIG E JAYNE, 1993 apud FIGUEROA E MORAES, 2009).

A madeira encontrada em cada árvores se difere, devido duas classificações em virtude de sua anatomia sendo elas softwood, conhecidas como coníferas, e hardwood, as dicotiledôneas. As coníferas são árvores de menor resistência e densidade, como os Pinheiros e Cedros, desta forma utilizadas na produção de celulose, papel e lenha, enquanto as dicotiledôneas são espécies de madeira mais dura, tendo assim maior resistência, densidade e espessura, por exemplo Peroba-Rosa e Jatobá, que pode ser utilizada em móveis, decoração e na construção civil.

Saliente-se ainda que em virtude da propriedade anisotrópica e os elementos anatômicos, fazem com que a madeira tenha vasos, fibras e raios medulares em diversos planos ou direções perpendiculares entre si, assim não existindo simetria em qualquer eixo, o que faz com que seja mais resistente.

A madeira é um dos materiais de construção mais antigos e possui muitas potencialidades pelo mundo na construção civil e no setor de moveleiro. A utilização de madeiras em diversos setores resulta em alta geração de resíduos que podem ser utilizados em



outros elementos tanto para decoração como em madeiras artificiais, como os compensados e mdf.

Entretanto no país, por conta da combustibilidade da madeira e a insegurança diante de potenciais riscos relacionados a incêndios são considerados restrições para a construção de edificações com sistemas estruturais em madeira. (FIGUEROA; MORAES, 2009). Porém estas restrições vem sendo contornada por meio de diversos estudos e divulgações tecnológicas, fazendo assim com que o emprego deste material venha sendo crescente.

Em contrapartida a utilização da madeira na construção civil vem ocupando o espaço fora do país, principalmente na Europa, devido seu baixo custo e a alta taxa de desemprego. De acordo com estudos, acreditavam que em 2010 a madeira seria o principal material em construções, visto que sua base florestal emprega 2,7 milhões de pessoas e gera cerca de 165 bilhões de Euros por ano (ZENID, 2007 apud ALVES, 2011).

Um dos principais problemas do resíduo gerado pela manipulação da madeira, é o baixo valor de mercado e a baixa densidade, sendo necessário grandes espaços para armazenamento para tornar viável a coleta e reciclagem. (LIMA et. al 2017). Entretanto mesmo com o desenvolvimento da Lei 12.305/2010, que prevê o descarte de resíduos em locais corretos e não em lixões, somente grandes centros reutilizam ou reciclam de maneira adequada, pois em marcenarias e serralherias é feito o acúmulo do resíduo, o qual traz trabalhos insalubres.

RESÍDUOS DA MADEIRA

Segundo Fontes (1994) e IBDF/DPq - LPF (1998) apresentado em Hillig et al. (2006) devido os diferentes processos, os resíduos de madeira gerados podem ser classificados em três tipos principais:

- a) serragem - resíduo originado da operação de serras, encontrado em todos os tipos de indústria, à exceção das laminadoras;
- b) cepilho - conhecido também por maravalha, resíduo gerado pelas plainas nas instalações de serraria/beneficiamento e beneficiadora (indústrias que adquirem a madeira já transformada e a processam em componentes como móveis, esquadrias, pisos, forros);
- c) lenha - resíduo de maiores dimensões, gerado em todos os tipos de indústria, composto por costaneiras, aparas, refilos, resíduos de topo de tora, restos de lâminas.

A cadeia produtiva madeira-móveis gera uma significativa quantidade de resíduos de madeira que, embora muitas vezes seja aproveitada para alguns fins específicos, pode se constituir num problema de gestão ambiental das empresas. Embora a maior perda de madeira



na forma de resíduo ocorra em seu processamento primário, nas indústrias de móveis podem ocorrer perdas nas operações de corte e de acabamento. (HILLIG et al; 2009). Estes resíduos podem ser reutilizados pela própria indústria que os produz, principalmente como energia, ou podem ser vendidos para outras empresas e aplicado em usos diversos (LIMA; SILVA, 2005).

O PÓ DE MADEIRA

A serragem, pó de serra ou pó de madeira é uma substância orgânica obtida como resultado do corte, moagem, perfuração ou raspagem, ou seja, resíduo originado do uso de ferramentas de corte usada em serrarias, fábricas ou nas atividades domésticas (AHMED et al 2018 apud CALVANI 2018).

Em 2004, Dantas Filho estimava que uma serraria de porte médio era destinada a produzir 2 mil metros cúbicos de madeira serrada por mês, poderia gerar 78 toneladas de serragem. Ao todo, as serrarias do país geram em torno de 620 mil toneladas de serragem por ano, o que acarreta num enorme problema ambiental (SANTOS, 2004).

Segundo Silva et al. (2017) de 1m^3 de madeira somente $0,06\text{m}^3$ se transformam em móveis e o restante é descartado como resíduo, dentre eles o pó de serra que obteve maior percentual em todas as empresas. Esse resultado se deve ao fato de as empresas, pequena, média e grande, trabalharem com produção de móveis. Ademais PRNS (2020) estima-se que no Brasil no ano de 2016, que cerca de 39 milhões toneladas de resíduos de madeira tenham sido obtidas com atividades das indústrias madeireiras.

Conforme a Indústria Brasileira de Árvores (2019), o setor madeireiro designa 63,2% dos seus resíduos para a geração de energia por meio da queima, 29,4% são reutilizados como matéria-prima por empresas do setor e os outros 7,4% se dividem em: lama de cal, cinza de caldeira que são reutilizados para cimento e óleo combustível reciclado e compostos químicos. Dessa forma, entendeu-se que os resíduos tem destinação para reciclagem diferentes destinos sendo a reutilização no ciclo de produção uma das disposições mais econômicas e ecologicamente corretas (GALBIATTI et al., 2007; SANTOS et al., 2013; TOLEDO et al., 2015 apud VASCONCELLOS; OLIVEIRA, 2020).

Devido às suas propriedades como isolante térmico e visando garantir essa reinserção da madeira em um novo ciclo de vida, o pó de madeira tem tido altas vantagens na fabricação de materiais compósitos. Nos Estados Unidos, a reciclagem e reutilização são de extrema importância, o material já é muito utilizado para combustível, celulose e matéria-prima em produtos como painéis de aglomerado (MOURA et al., 2020).



Nos anos 2000, a utilização de fontes renováveis como biomassa florestal teve um impulso, de forma com que houvesse o crescimento da produção de pellets de madeira pelo mundo. Pellet é um biocombustível granulado à base de biomassa vegetal moída e compactada em alta pressão de alto poder calorífico e boa resistência mecânica, produzido com serragem, maravalha e outros resíduos de madeira (LI E LIU, 2000; KALIYAN E MOREY, 2009 apud QUÉNO et al., 2019).

Atualmente novos materiais compósitos estão sendo desenvolvidos, combinando-se matrizes termoplásticas e cargas reforçativas de origem lignocelulósica. O PHB (Poli-3-hidroxibutirato) é um termoplástico biodegradável sintetizado por fermentação submersa a partir de matérias-primas renováveis, ao se incorporar do pó de madeira aumentou o grau de cristalinidade, a temperatura de cristalização do polímero e a rigidez do material aumenta se tornando melhor do que o PHB com sacarose proveniente da cana-de-açúcar comumente conhecido no Brasil (MACHADO et al., 2010).

Além de grandes utilizações tecnológicas, o pó de madeira vem sendo utilizado por décadas na área ambiental, principalmente na agricultura, por serem ricos em celulose e contribuem para fornecimento de matéria orgânica, facilitam a drenagem dos solos. Sendo também comumente utilizadas em baias de animais para forração do chão batido, oferecendo conforto térmico ao animal, e também para a absorção da urina, evitando assim a incidência de insetos como moscas e varejeiras (ALVES, 2020).

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O setor da construção civil é responsável por parte da extração de matéria-prima em todo o mundo, resultando em grande impacto ambiental. Atualmente, o tema mais abordado é a utilização de resíduos de construções como materiais alternativos, que podem promover redução do custo e desenvolvimento sustentável (MACIEL et al., 2017).

Os resíduos gerados pelas atividades industriais aumentaram em decorrência do desenvolvimento das indústrias que são produzidos por vários tipos de indústria, tais como a metalúrgica, a química, a petroquímica, a papelreira, a alimentícia entre outras. Desse modo, pode-se gerar variados tipos de resíduos, dos quais destacam-se as cinzas, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plástico, papel, madeira, fibras, borracha, metais e outros (NAUMOFF E PERES, 2000 apud LUCAS E BENATTI, 2008).

Devido ao aumento focado na temática meio ambiente e sua preservação, surgiu a necessidade de se desenvolverem mecanismos para promover a conscientização e a busca de



soluções para a implantação de tecnologias capazes de minimizar os impactos decorrentes da disposição destes resíduos. Durante a ECO-92 e a definição da Agenda 21, houve destaque para a necessidade urgente de se implementar um adequado sistema de gestão ambiental para os resíduos sólidos (GÜNTHER, 2000 apud ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2000).

Dessa maneira o setor da construção civil, sendo um grande consumidor de recursos naturais, representa uma alternativa econômica, por meio da utilização em produtos cerâmicos e cimentícios, pois promove desenvolvimento sustentável, baseando-se na conservação e preservação ambiental (LUCAS; BENATTI, 2008).

A primeira civilização interessada pela produção de concreto foram os Romanos, primeiramente investigando propriedades dos minerais vulcânicos na tentativa de reduzir o peso (LASHIN et al., 2021). Entretanto, a utilização de resíduos na construção civil vem crescendo desde a 2ª Guerra Mundial, no qual eram utilizados resíduos de construção e demolição nas obras principalmente na Europa, assim dando início aos estudos da utilização de madeira em concreto e argamassa. Outra utilização é dos resíduos do setor siderúrgico, onde boa parte do aço destinado a reforço de concreto armado produzido no país é proveniente do processo de arco elétrico, que utiliza como matéria prima quase que exclusivamente a sucata (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2000).

UTILIZAÇÃO DE PÓ DE MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo Instituto Pró-Natura (2002) citado em Hillig et al. (2006) existem por volta de 2.500 empresas na região Amazônica, que produzem aproximadamente 9,7 milhões de m³ de produtos madeireiros anualmente, dos quais, 63% destinados à construção civil. Ademais, Arima et al. (1999) citam que essas empresas geram um grande volume de resíduos de madeira estimado entre 60 e 68% do volume de madeira bruta processada (HILLIG et al. 2006).

De acordo com Maciel et al. (2017), o pó de serra apresenta-se como uma alternativa na redução do consumo de matérias-primas e mitigação dos problemas gerados pelo descarte inadequado do material, altamente prejudicial à saúde, podendo ser utilizado como agregado miúdo na produção de concreto, painéis de cimento madeira, blocos, forros, elementos de vedação e de alvenaria. Com isso, poderá economizar não somente materiais, mas reduzir custos, impactos ambientais e minimizar os desperdícios.

Conforme Moslemi (1989) e Semple e Evans (2004), os materiais produzidos com compósito cimento-madeira são extremamente benéficos devido sua alta disponibilidade em grandes quantidades, baixa massa específica, baixa permeabilidade. Além de apresentar



vantagens, por não emitem resíduos tóxicos durante sua manufatura, dessa maneira não necessitando de tratamentos preservativos (CORETTI et al., 1998 apud LIMA E IWAKIRI, 2014).

Com diversos estudos Dantas Filho citado em Santos (2004), utiliza o pó de serra como agregado miúdo em substituição parcial ou total ao agregado miúdo mineral, que possibilita a redução significativa da areia na produção de blocos de concreto devido o comportamento do material que é mais leve e tem como propriedade ser termo isolante, além da função de baixa condutividade térmica. Ainda mais, as pesquisas revelaram que a utilização de pó de madeira no concreto faz com que seja 3,5 vezes mais isolante térmico que o convencional.

Os materiais convencionais, como o concreto, precisam ser revestidos com isolantes térmicos para reduzir o calor gerado nos ambientes, o que além de encarecer o projeto nem sempre produz efeito estético satisfatório, assim sendo viável a utilização do pó de madeira (DANTAS FILHO, 2004 apud SANTOS 2004).

Outra utilização de pó de madeira é na criação de painéis, que estão na classe de produtos que auxiliam a industrialização da construção civil, pois podem ser utilizados na execução de paredes, pisos e coberturas de forma modulada, o que pode eliminar uma série de etapas. Além da facilidade de sua utilização, a madeira tem um forte apelo ecológico e baixo consumo de energia, o que resulta em baixa quantidade de emissão de carbono em forma de CO₂ (MATOSKI, 2005).

Os compósitos de cimento-madeira, feitos em painéis ou em blocos de concreto implica em uma redução do tempo e custo obra, além de satisfazer as necessidades de segurança e saúde, pois sendo material a base de cimento, é mais resistente aos ataques por fungos e insetos do que a madeira. Ainda, o fato de serem resistentes ao fogo aumenta a sensação de segurança, inclusive se tornando uma alternativa viável aos fibrocimentos que utilizam asbesto (amianto), principalmente na Europa, Japão e América do Norte (MOSLEMI, 1989 e MATOSKI apud CORETTI et al. 1998 apud LIMA E IWAKIRI, 2014).

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho foi necessária uma pesquisa de artigos científicos disponíveis no Portal Periódicos CAPES. Nesta pesquisa, foram selecionados trabalhos que abordam a utilização de pó de madeira em cimentos, argamassas e na utilização do mesmo em placas cimento e definições associadas à temática em estudo.



DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido à alta produção de resíduos madeireiros, principalmente de pó de madeira, o aumento da necessidade de desenvolver ideias tecnológicas e ecológicas, muitos pesquisadores tentam desenvolver blocos de concreto incorporando este composto em substituição parcial ao agregado miúdo mineral, com intuito de melhorar as propriedades físicas e mecânicas, que possibilitem assim a sua utilização em alvenaria estrutural.

Com base nos estudos foi possível afirmar que a utilização do pó de madeira traz benefícios ao meio ambiente, além de atender as necessidades da humanidade, ainda mais na construção civil, devido ao conhecimento de que blocos de concreto reduzem o custo da obra, além de aumentarem a velocidade na conclusão da obra, demonstrando assim que a junção entre pó de madeira e blocos de concreto são extremamente importantes

REFERÊNCIAS

ALVES, R. C. Elaboração de um atlas e de uma chave para a identificação das principais madeiras comercializadas no estado do Espírito Santo. 2010. 64 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Engenharia Florestal, UFES, Jerônimo Monteiro, 2010. Disponível em: <<https://florestaemadeira.ufes.br/sites/florestaemadeira.ufes.br/files/RejaneCostaAlves.pdf>> Acesso em: 30 ago. 2021.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. 2000. 13 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2000. Disponível em: <<http://www.limpezapublica.com.br/textos/sustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2021.

BARUTTI, A. N. R.; ARAÚJO, J. V. P.; ALTOÉ, S. P. S. Reaproveitamento do resíduo pó de serra na construção civil. Aplicação em enchimento de lajes pré-fabricadas. Revista de Engenharia e Tecnologia, Ponta Grossa, v. 11, n. 3, p. 123-134, set. 2019. Disponível em: <<https://revistas2.uepg.br/index.php/ret/article/view/13037>>. Acesso em: 04 ago. 2021.

BRAHMIA, F. Z.; HORVÁTH, P. G.; ALPÁR, T. L. Effect of pre-treatments and additives on the improvement of cement wood composite: A review. BioResources, [S. l.], v. 3, n. 15, p. 7288-7308, 2020. Disponível em: <<https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/effect-of-pre-treatments-and-additives-on-the-improvement-of-cement-wood-composite-a-review/>>. Acesso em: 06 dez. 2021.



BESSA, M. L. T. Estudo da dispersão e adesão de micropartículas de diamante em formulação de compósitos epoxídicos. 2017. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2017. Disponível em: <<https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Magno-Vers%C3%A3o-Final.pdf>> Acesso em: 21 set. 2021.

BOCCHINI, B. Destinação inadequada de lixo cresce 16% em uma década. 2020. Agência Brasil. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2020-12/destinacao-inadequada-de-lixo-cresce-16-em-uma-decada>> Acesso em: 18 ago. 2021.

BOTELHO, E. C.; REZENDE, M. C. Caracterização Mecânica de Compósitos de Poliamida/Fibra de Carbono Via Ensaio de Cisalhamento Inter laminar e de Mecânica da Fratura. Polímeros, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 153-163, 2002. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/s0104-14282002000300007>> Acesso em: 20 set 2021

BRASIL. Lei nº 12305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm> Acesso em: 29 ago. 2021.

_____. Ministério do Meio Ambiente e Secretaria de Qualidade Ambiental. PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2020. Disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/conesan/sites/253/2020/11/pnrs_2020.pdf>

CALVANI, C. Aproveitamento do pó de serra no concreto: avaliação das propriedades físicas e mecânicas. Journal of Experimental Techniques and Instrumentation, [S.L.], v. 1, n. 3, p. 20-39, 30 set. 2018. Journal of Experimental Techniques and Instrumentation. Disponível em: <<http://doi.org/10.30609/jeti.2018-6011>>. Acesso em: 09 set. 2021

CAMPELO, N. M.; MACHADO, F. Recycling of styrene-divinylbenzene via mass-suspension polymerization process. Polímeros, Brasília, v. 23, n. 2, p. 212-222, jan. 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/317415207_Recycling_of_styrene-divinylbenzene_via_mass-suspension_polymerization_process> Acesso em: 20 set. 2021.

CARLOS, I. G. R. Materiais Compósitos. [S.L.], 2012. Color. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/belagaldino/compositos>> Acesso em: 09 set. 2021.

CARNEIRO, L. A. V.; TEIXEIRA, A. M. A. J. Propriedades e características dos materiais compósitos poliméricos aplicados na Engenharia de Construção. Revista Militar de Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro. p. 54-66, 2008. Disponível em: <http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_3_quad_2008/propr_caract_compostos_compositos.pdf> Acesso em: 09 set. 2021.

CARVALHO, W. et al. A vision of wood structure, composition and biodegradation. Química Nova, Lorena, v. 32, n. 8, p. 2191-2195, 2009. Fap UNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/s0100-40422009000800033>>. Acesso em: 30 ago. 2021.

CASTILHO, H. Uso de madeira na construção civil. 2017. Disponível em: <<http://henriquecastilho.com.br/blog/uso-madeira-construcao-civil/>>. Acesso em: 10 set. 2021.



CCDM UFSCar. Compósitos com Fibras Naturais. Disponível em: <www.ccdm.ufscar.br/tipos-de-projetos-de-pesquisa-e-desenvolvimento-em-polimeros/compositos-com-fibras-naturais/>. Acesso em: 09 set. 2021.

CHICHORRO, J. F.; BATISTA, T. R. Aproveitamento de resíduos de pequenos empreendimentos madeireiros em Jerônimo Monteiro - ES. *Nativa*, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 66-72, fev. 2017. *Nativa*. Disponível em: <<http://doi.org/10.5935/2318-7670.v05n01a11>>. Acesso em: 10 set. 2021.

ESPÍNDOLA, M. Professor da UFMG desenvolve processo que usa resíduos da indústria moveleira na obtenção de material baseado em madeira granulada para fabricação objetos. 2019. UFMG. Disponível em: <<https://ufmg.br/comunicacao/assessoria-de-imprensa/release/professor-da-ufmg-desenvolve-processo-que-usa-residuos-da-industria-moveleira-na-obtencao-de-material-baseado-em-madeira-granulada-para-fabricacao-de-objetos>> Acesso em: 27 ago. 2021.

FIGUEIREDO, A. D. Concreto com fibras de aço. São Paulo: EPUSP, 2000. 68 p. BT/PCC/260. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/bt_0_0260.pdf>. Acesso em: 21 set. 2021

FIGUEROA, M. J. M.; MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. *Ambiente Construído*, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 157-174, dez. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <<http://doi.org/10.1590/s1678-86212009000400525>> Acesso em: 29 ago. 2021

GESUALDO, F. A. R. Estruturas de madeira: Notas de aula. Uberlândia: Aula, 2003. 98 f. Disponível em: <http://usuarios.upf.br/~zacarias/Notas_de_Aula_Madeiras.pdf> Acesso em: 29 ago. 2021.

GUEDES, B. Compósitos formados por dois materiais a nível macroscópico enorme gama de propriedades excelentes rigidez e resistência específicas fibras e matriz cerâmicas, 2019. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/16112053/>> Acesso em: 09 set. 2021.

HILLIG, É. et al. Resíduos de madeira da indústria madeireira: caracterização e aproveitamento. In: ENEGEP, 26º ed., 2006, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Abepro, 2006. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2006_tr520346_8192.pdf> Acesso em: 24 ago. 2021.

_____. Geração de resíduos de madeira e derivados da indústria moveleira em função das variáveis de produção. *Production*, Caxias do Sul, v. 19, n. 2, p. 292-303, mai-ago 2009. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/s0103-65132009000200006>>. Acesso em 15 set 2021

IBGE. Censo 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>> Acesso em: 17 ago. 2021.

IDENTIFICAÇÃO macroscópica de madeiras. Colombo. EMBRAPA, maio 2011. 1ª Ed. Disponível em: <<https://lrfp.paginas.ufsc.br/files/2016/05/Documentos-194-EMBRAPA-identifica%C3%A7%C3%A3o-macrosc%C3%B3pica-de-Madeiras.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2021.



JOSEPH, K; MEDEIROS, E. S.; CARVALHO, L. H. Compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras curtas de sisal. *Polímeros*, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 136-141, dez. 1999. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/s0104-14281999000400023>> Acesso em: 20 set 2021

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. *Química da Madeira*. Curitiba: UFPR, 2013. 85 f. 4ªed. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/Quimica%20da%20Madeira%202013.pdf>> Acesso em: 28 ago. 2021.

LASHIN, M. M. A. et al. Using Artificial Intelligence for Optimizing Natural Frequency of Recycled Concrete for Mechanical Machine Foundation. *Recycling*, [S. l.], v. 6, n. 43, p. 1-16, 23 jun. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/recycling6030043>>. Acesso em: 01 dez. 2020.

LIMA, A. J. M; IWAKIRI, S. Utilização de resíduos da madeira de *Pinus spp.* como substituição ao agregado miúdo na produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 223-235, jan.-mar. 2014. Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <<http://doi.org/10.5902/1980509813339>>. Acesso em: 10 set 2021.

LIMA, E. G; SILVA, D. A. da. Resíduos gerados em indústrias de móveis de madeira situadas no polo moveleiro de ARAPONGAS-PR. *Floresta*, Curitiba, v. 35, n. 1, p. 105-116, set. 2005. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <<http://doi.org/10.5380/ufpr.v35i1.2434>>. Acesso em: 15 set 2021.

LIMA, T. C. S.V. et al. Caracterização do resíduo de serragem da madeira para utilização como agregado na construção civil em salgueiro-pe. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 69, 2017, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Engenharia Civil / Construção Civil, 2017. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/69ra/resumos/resumos/2624_142c7ec027a823_2ac5500adfae_d31b0ea.pdf> Acesso em: 25 ago. 2021.

LUCAS, D.; BENATTI, C. T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, Maringá, v. 1, n. 3, p. 405-418, set./dez. 2008. Universitário de Maringá. Disponível em: <<http://doi.org/10.17765/2176-9168.2008v1n3p405-418>>. Acesso em: 10 set. 2021.

MACHADO, M. L. C. et al Study of mechanical and thermal properties of the polymer Poly-3-hydroxybutyrate (PHB) and PHB/wood flour composites. *Polímeros*, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 65-71, mar. 2010. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/s0104-14282010005000011>>. Acesso em: 12 set 2021.

MACIEL, C. C. C. et al. O pó de serra de madeira utilizado como agregado fino na utilização de concreto para pavimentação em vias de tráfego leve. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 1, 2017, Gramado. Anais... Gramado: Ibeas, 2017. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2018/VII-011.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2021

MACCARI, C; DELUCA, F. *Materiais compósitos*. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/90609024/materiais-compositos>>. Acesso em: 16 set. 2021.



MARTIN, P. S. Cimento e pó-de-serra: aliados na construção. Folha de Londrina, Londrina. 02 abr. 1997. Disponível em: <<https://www.folhadelondrina.com.br/mercado-digital/cimento-e-po-de-serra-aliados-na-construcao-15646.html>> Acesso em: 25 ago. 2021.

MATERIAIS JÚNIOR. Materiais Compósitos: origem e funcionalidades. 2020. Disponível em: <<https://materiaisjr.com.br/materiais-compositos-origem-e-funcionalidades/>>. Acesso em: 30 ago. 2021.

MATOSKI, A. Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira. 2005. 202f. Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação (Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, UFTPR, Curitiba, 2005. Disponível em: <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_dr/2005/t187_0240-D.pdf> Acesso em: 20 jul. 2021.

MELO, J. E. Madeira: Características e aplicações. Brasília: Via Brasil, 2002. 34 f. Ibama: LPF. Disponível em: <<https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/component/content/article/34-publicacoes/apostilas-de-tecnologia-da-madeira/65-madeira-caracteristicas-e-aplicacao?Itemid=>>> Acesso em: 24 ago. 2021.

MONTEIRO, S. N. et al. Comportamento mecânico e características estruturais de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas e alinhadas de curauá. *Materia*, Rio de Janeiro, v. 11, n. 3, p. 197-203, set. 2006. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/s1517-70762006000300005>>. Acesso em: 16 set 2021.

MOREIRA, A. M. Materiais Compósitos. 2008. 12 f. Curso de Engenharia Civil, Escola Superior de Tecnologia de Tomar. Disponível em: <http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2932__Compositos_MC1.pdf> Acesso em: 22 set. 2021.

MOURA, I. R. de et al. Reutilização de resíduos de serraria como matéria prima para fabricação de material compósito de isolamento térmica. *Revista Ibero-americana Polímeros*, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 64-74, nov. 2019 - mar. 2020. Disponível em: <<https://reviberpol.files.wordpress.com/2020/04/2020-21-2-64-74-moura.pdf>> Acesso em: 11 set. 2021

QUÉNO, L. R. M. et al. Technical aspects of wood pellet production. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 1478-1489, jul.-set. 2019. Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/1980509820606>> Acesso em: 11 set. 2021.

SANTOS, B. P. et al. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. *Revista Produção e Desenvolvimento*, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 111-124, jan. 2018. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/325060590_INDUSTRIA_40_DESAFIOS_E_OP](https://www.researchgate.net/publication/325060590_INDUSTRIA_40_DESAFIOS_E_OPORTUNIDADES)> Acesso em: 17 ago. 2021.

SANTOS, R. C. Serragem substitui materiais da construção civil. 2004. Disponível em: <<https://doutorbloco.com.br/serragem-substitui-materiais-da-construcao-civil/>>. Acesso em: 09 set. 2021.



SILVA, A. L. S. da. Compósito. 20--. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/materiais/composito/>>. Acesso em: 09 set. 2021.

SILVA, C. P. da et al. Quantificação de Resíduos Produzidos nas Indústrias Madeireiras de Gurupí, TO. Floresta e Ambiente, [S.L.], v. 24, p. 1-8, 13 jul. 2017. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/2179-8087.065613>>. Acesso em: 09 set. 2021.

SILVA, I.L.A. Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta. 2014. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciências de Materiais, Ciência e Tecnologia, UENF, Campos dos Goytacazes, 2014. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Tese-de-Doutorado_Isabela-Leao.pdf> Acesso em: 09 set. 2021

SILVA, R. A. et al. Enhanced properties of cement mortars with multilayer graphene nanoparticles. Construction and Building Materials, [S.L.], v. 149, n. 15, p. 378-385, set. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.146>> Acesso em 20 set 2021

SOARES, M. R. F. Materiais Compósitos Aspectos Gerais e Aplicações. Caxias do Sul: Aula, 2018. 74 slides, color. Universidade de Caxias do Sul. Disponível em: <<https://www.ucsminhaescolha.com.br/site/midia/arquivos/05-12-17-materiais-compositos-e-aplicacoes1.pdf>> Acesso em: 09 set. 2021.

UNIVERSIDADE pública em São Paulo. Unidade 19 Materiais Compósitos. São Paulo: Aula Fundamentos de ciência e Engenharia do Materiais, 2017. 69 slides, color. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4141306/mod_resource/content/1/PMT3100_2017-Un19-Compositos v4.0.pdf>. Acesso em: 09 set. 2021.

VASCONCELLOS, M. S; OLIVEIRA, E. C. de. Gerenciamento de resíduos sólidos madeireiros: estudo em empresas madeireiras no município de Buri-SP/timber solid waste management. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 78118-78146, out. 2020. Brazilian Journal of Development. Disponível em: <<http://doi.org/10.34117/bjdv6n10-296>>. Acesso em 11 set. 2021.

WEARN, Y. N.; MONTAGNA, L. S.; PASSADOR, F. R. Compósitos de fibra de coco/LDPE: efeito do tratamento superficial das fibras de coco em compósitos verdes. Revista Matéria, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, 15f, 2020. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/s1517-707620200001.0873>>. Acesso em: 15 set 2021.



CAPÍTULO 14

CORRELAÇÃO BASEADA EM REDES NEURAS ARTIFICIAIS PARA CÁLCULO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DA ÁGUA EM FASE LÍQUIDA

Matheus Gutierrez Leles
Thiago Dias Martins

RESUMO

Parâmetros termodinâmicos são, muitas vezes, valores de difícil obtenção. Sabendo-se disso, métodos numéricos são ferramentas importantes. Dessa forma, neste trabalho, utilizou-se de redes neurais artificiais (RNAs), que têm se mostrado bastante eficientes na resolução de problemas. Foram empregados dados experimentais da água, em fase líquida, disponíveis na literatura, para realizar o treinamento de RNAs, visando o cálculo da condutividade térmica (λ), em diferentes valores de pressões e temperaturas. O melhor resultado, na etapa de simulação foi obtido com uma RNA de uma camada intermediária contendo 18 neurônios. O erro médio percentual obtido foi de 0,057%, para a etapa de treinamento, o mesmo erro foi de 0,035% para a etapa de simulação. Assim, conclui-se que as RNAs se mostram uma ferramenta muito precisa para o cálculo do λ da água, a partir de sua temperatura e pressão.

PALAVRAS-CHAVE: Refrigeração, Inteligência Artificial, propriedades termodinâmicas, água, modelagem.

INTRODUÇÃO

O conhecimento de propriedades termodinâmicas das substâncias é uma necessidade para diversas aplicações na área da Engenharia. Porém, a sua obtenção através de equações simples pode ser um problema, tendo em vista a complexidade de seu comportamento (Ghaderi *et al.*, 2017).

Um exemplo é a condutividade térmica (λ) de um dado fluido, uma vez que estas propriedades se alteram significativamente, para diferentes valores de temperatura e pressão, especialmente em fase líquida. Essas propriedades são bastante utilizadas na modelagem de problemas de refrigeração, nos balanços de energia, e seus valores precisam ser calculados com precisão. Porém, a sua modelagem é uma tarefa difícil, e empregar o uso de equações mais complexas pode tornar a sua obtenção mais fácil (GHADERI *et al.*, 2017).

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) têm se mostrado cada vez mais eficientes para a resolução deste tipo de problema, uma vez que a ideia por trás deste sistema é de fato simular uma rede neural biológica, parecida com a do ser humano. Com isso, ela é capaz de aprender com exemplos, e pode resolver problemas mais complexos com uma grande precisão (HAYKIN, 2005).



As RNAs são utilizadas amplamente para o cálculo de propriedades termodinâmicas e diversos trabalhos mostraram que equações de alta precisão podem ser obtidas (MELO *et al.*, 2020; BRAGA *et al.*, 2021; OTTAIANO *et al.*, 2021).

Desta forma, neste trabalho, foram empregadas RNAs para se obter uma única equação para o cálculo de λ em função de temperatura e pressão do fluido mais conhecido dentre as engenharias, a água (que é amplamente empregado indústria), em estado líquido.

REFERENCIAL TEÓRICO

A água é uma molécula extremamente peculiar. Do ponto de vista químico, ela apresenta diversas propriedades únicas que são de extrema importância para a vida humana, além de ser considerado o solvente universal. Sua estrutura polar é formada por um átomo de oxigênio e dois de hidrogênio, o que lhe confere uma interação intermolecular chamada ligação de hidrogênio (AZEVEDO *et al.*, 2014). Além disso, na indústria química, a água possui papel primordial para o funcionamento de algumas operações, como por exemplo a refrigeração.

A refrigeração industrial possui componentes semelhantes ao condicionamento de ar (processo de refrigeração comum no dia a dia), são eles: tubos, bombas, ventiladores, compressores e trocadores de calor. Seu principal objetivo é a refrigeração de um meio ou substância, para isso é necessário o uso de fluidos como: ar, fluidos refrigerantes e água (STOECKER; JABARDO, 2002).

Mesmo apresentando semelhanças, não se pode considerar a refrigeração industrial um subproduto do condicionamento de ar. Ela deve ser estudada separadamente, isso porque possui características próprias (STOECKER; JABARDO, 2002).

Na refrigeração industrial, a faixa de temperatura atua entre -70°C e 15°C e essa operação unitária é comumente utilizada na indústria química, de processos e de alimentos (STOECKER; JABARDO, 2002). Portanto torna-se necessário a modelagem de variáveis desse processo, entre elas, a condutividade térmica.

A condutividade térmica, é a capacidade de um certo material em conduzir energia térmica. Estruturas feitas com materiais de alta condutividade térmica conduzem energia térmica de forma mais rápida e eficiente do que estruturas análogas feitas com materiais de baixa condutividade térmica. Em problemas de refrigeração industrial, o conhecimento dos valores de condutividade térmica é de grande importância, pois essa variável é utilizada nos balanços de energia pertinentes (RATNA, 2012).



Segundo (Huber *et al.*, 2012), a condutividade térmica para a água pode ser definida pela Equação (1):

$$\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_0(\bar{T}) \cdot \bar{\lambda}_1(\bar{T}, \bar{\rho}) + \bar{\lambda}_2(\bar{T}, \bar{\rho}) \quad (1)$$

No qual $\bar{\lambda}_0$ representa a condutividade térmica na densidade inicial, $\bar{\lambda}_1$ representa a contribuição devido ao aumento de densidade, já $\bar{\lambda}_2$ representa o aperfeiçoamento na região crítica.

Do cálculo de $\bar{\lambda}_0$:

$$\bar{\lambda}_0(\bar{T}) = \frac{\sqrt{\bar{T}}}{\sum_{k=0}^4 \frac{L_k}{T_k}} \quad (2)$$

Os coeficientes L_k são constantes tabeladas, apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Coeficientes L_k para Eq (2).

k	L_k
0	$2,443221 \times 10^{-3}$
1	$1,323095 \times 10^{-2}$
2	$6,770357 \times 10^{-3}$
3	$-3,454586 \times 10^{-3}$
4	$4,096266 \times 10^{-2}$

Fonte: Huber *et al.*, 2012.

Para calcular a contribuição $\bar{\lambda}_1(\bar{T}, \bar{\rho})$, sabe-se que:

$$\bar{\lambda}_1(\bar{T}, \bar{\rho}) = \exp \left[\bar{\rho} \sum_{i=0}^4 \left(\frac{1}{\bar{T}} - 1 \right)^i \sum_{j=0}^5 L_{ij} (\bar{\rho} - 1)^j \right] \quad (3)$$

O termo L_{ij} é calculado por regressão linear dos dados experimentais e da densidade adimensional.

Já o valor de $\bar{\lambda}_2$ é definido por uma equação extremamente complexa dependente de outras variáveis que não foram citadas anteriormente. Essa equação pode ser consultada em Huber *et al.* (2012) e não será apresentada aqui, pois foge do escopo deste trabalho. Dessa forma, nota-se que o cálculo da condutividade térmica a partir de equações fenomenológicas é complicado. Neste espectro, a aplicação das Redes Neurais Artificiais se mostram uma alternativa interessante, visto que elas consistem em uma equação mais simples que pode ser



implementada em uma planilha eletrônica e pode ser válida para um amplo intervalo de interesse.

Por se tratar de um problema em que seria necessário prever a condutividade térmica, baseada em uma equação matemática, uma alternativa é a implementação usando Redes Neurais Artificiais (RNAs).

As RNAs vêm ganhando espaço no meio científico devido ao seu potencial de compreensão e generalização dos problemas. Isto é, não é necessário grande conhecimento na área de aplicação uma vez que os computadores é que irão moldar a equação mais correta para se prever o fenômeno (BRAGA *et al.*, 2007).

A maneira de como funciona um neurônio biológico começou a ser entendida apenas a partir da década de 40 que foi quando o neurônio passou a ser parte elementar do sistema nervoso (BRAGA *et al.*, 2007). A transmissão da informação em um neurônio biológico ocorre da seguinte maneira: a informação vinda de outro neurônio entra pelos dendritos, na qual é enviado para o corpo celular ocorrendo neste momento o processamento, gerando um impulso. O axônio possui a função enviar o impulso nervoso aos terminais do axônio que se ligam aos dendritos do neurônio seguinte, onde se repetem as etapas (HAYKIN, 2005; BRAGA *et al.*, 2007).

O neurônio artificial foi desenvolvido baseando seu funcionamento em um neurônio biológico, possuindo assim entradas, saídas e sinapses. Os neurônios artificiais tem capacidade de absorver o conhecimento a partir de exemplos e sem um profundo conhecimento acerca do assunto (HAYKIN, 2005). A equação do neurônio, que relaciona as entradas do neurônio com a sua saída, é chamada de coeficiente de ativação (α_j) e é dada pela Eq. (4).

$$\alpha_j = \sum I_i \cdot w_{ij} + b_j \quad (4)$$

em que: I_i representa a informação, i , encaminhada pelo neurônio anterior, que chega até o neurônio, j , por meio de sinapses. As ligações entre os neurônios são ponderadas por pesos que possuem valores numéricos, w_{ij} , e que representam a importância da entrada no neurônio. Outro parâmetro de importância são os bias (b_j), que amplia o espaço de solução adequando a RNA ao problema em questão (BRAGA *et al.*, 2007; MARTINS, 2018).

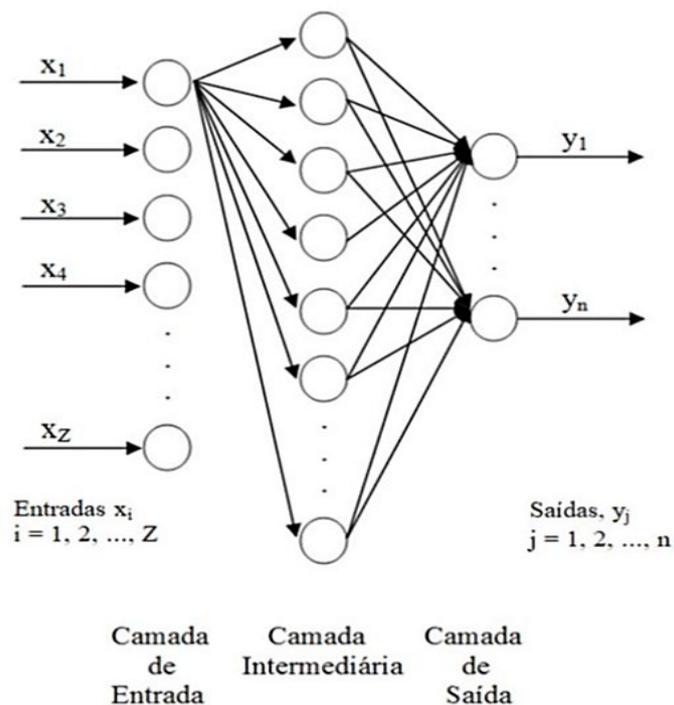
Como se pode notar, a Eq. (4) tem natureza linear. No entanto, é comum que os fenômenos analisados possuam um comportamento não-linear. Por esse motivo, se faz necessária uma correção: a aplicação de uma função de ativação e também a associação de diversos neurônios em camadas (MARTINS, 2018).



Nesse caso a função de ativação deverá ser calculada a partir do coeficiente de ativação do neurônio, o que gera saída $O_j = f(\alpha_j)$, podendo assumir diversas formas como secante hiperbólica, sigmoideal, tangente hiperbólica, entre outras. É comum o uso de funções contínuas, crescentes e com assíntotas para que não assumam valores irreais como infinito (BRAGA *et al.*, 2007).

As RNAs possuem a seguinte estrutura: uma camada de saída, uma de entrada e ao menos uma camada intermediária (ou oculta). Todas as camadas possuem neurônios, cujo número varia dependendo do fenômeno estudado. Os neurônios se ligam aos da próxima camada a fim de transmitir a informação de maneira unidirecional (BRAGA *et al.*, 2007). A Figura 1 exemplifica a estrutura das RNAs, em que Z e N representam o número de variáveis de entrada e saída da RNA, X representam os dados de entrada; Y representam os dados de saída.

Figura 3: Estrutura geral das Redes Neurais Artificiais.



Fonte: Martins, 2018.

O treinamento das RNAs, também conhecido como aprendizado, é realizado a partir da apresentação de exemplos. As Redes Neurais Artificiais recebem tais entradas (variáveis independentes), e buscam calcular uma saída (variável dependente) que possua relação com tais dados. Nessa etapa, dados são apresentados à rede, a fim de fazer com que ela aprenda sobre o fenômeno. Esse “aprendizado” está relacionado ao ajuste dos parâmetros que são os pesos e os bias. Os parâmetros representam o conhecimento adquirido pela RNAs (MARTINS, 2018).



Os pesos e bias são ajustados por meio de um algoritmo de otimização que busca o valor ideal dos parâmetros de modo a representar o fenômeno em questão, portanto as redes devem apresentar o menor erro entre os valores previstos e os valores experimentais. Sabendo-se que na iteração i , $\mathbf{w}(i)$ e $\mathbf{b}(i)$ são os vetores que representam os valores de pesos e bias. A estimativa dos seus valores na seguinte iteração ocorre da seguinte maneira (Martins, 2018):

$$\mathbf{w}(i+1) = \mathbf{w}(i) + \Delta\mathbf{w}(i) \quad (5)$$

$$\mathbf{b}(i+1) = \mathbf{b}(i) + \Delta\mathbf{b}(i) \quad (6)$$

Em que Δ é a variação do parâmetro estimada pelo algoritmo de otimização.

Na etapa de treinamento, os parâmetros são ajustados até que certa condição de parada seja atingida. Normalmente busca-se minimizar o erro entre a previsão e o valor experimental. Isso torna o treinamento de uma RNA um problema de otimização numérica.

Diversos algoritmos matemáticos foram desenvolvidos para se ajustar os parâmetros, cada um com suas vantagens e desvantagens. Alguns dos principais métodos de otimização são: Levenberg-Marquardt encontrado em Marquardt (1963), Powell-Beale encontrado em Beale (1972) e Powell (1977), e Resilient Back-propagation encontrado em Riedmiller e Braun (1992a).

Após a etapa de treinamento é necessário analisar se a rede é capaz de prever a ocorrência de um novo evento com certa exatidão, sendo dividida em duas etapas: validação e teste. Para analisar se a rede é a mais adequada usam-se valores experimentais que não foram apresentados na fase de treinamento (Haykin, 2005; Braga *et al.*, 2007).

Essas duas etapas possuem apenas uma diferença entre elas: a etapa de validação também pode ser usada como critério de parada no treinamento da rede. Isso evita o sobreajuste, que ocorre quando a rede fica viciada apenas nos valores apresentados na fase de treinamento (Braga *et al.*, 2007).

Durante o treinamento da RNA, acompanha-se o erro nos dados de validação: assim que a função objetivo da validação atinge um ponto de mínimo e passa a aumentar, é recomendado parar o treinamento e definir como resultado final aquele da iteração em que houve o ponto de mínimo da função objetivo (Martins, 2018). Após, usam-se os dados de teste e analisa-se se a rede apresenta previsões próximas à realidade. Caso positivo, a rede está apta a ser usada.



METODOLOGIA

Inicialmente, foi necessário se coletar os dados para realizar o ajuste. Para isso, utilizou-se o banco de dados do National Institute of Standards and Technology (NIST–Lemmon *et al.* (1998)), disponível online. Para a obtenção das RNAs (que neste estudo compreendeu as etapas de treinamento, teste e validação), coletou-se dados para água, para as isotermas de 274 K, 336 K, 401 K, 420 K, 434 K, 450 K, 466 K, 531 K, 595 K, 615 K. As faixas de pressão utilizadas consideravam apenas os valores para os quais a água se mantinha em fase líquida, começando na pressão de 0,1 MPa, e chegando a 200,1 MPa, variando de 1 MPa na etapa de obtenção, e 0,5 MPa na etapa de simulação. Na Tabela 2 é apresentada a faixa de pressão considerada para cada temperatura, bem como a respectiva faixa de valores de condutividade térmica.

Tabela 2: Faixas de valores obtidas para o treinamento.

Temperatura (K)	Pressão (MPa)	Cond. Térmica (W/m*K)
274	0,1 – 200,1	0,55781 – 0,65654
336	0,1 – 200,1	0,65366 – 0,7412
401	0,25335 – 200,1	0,6829 – 0,79167
420	0,4373 – 200,1	0,68161 – 0,79768
434	0,63172 – 200,1	0,6785 – 0,7999
450	0,9322 – 200,1	0,67272 – 0,80035
466	1,3356 – 200,1	0,66445 – 0,79875
531	4,5306 – 200,1	0,60824 – 0,77493
595	11,563 – 200,1	0,51675 – 0,73214
615	14,943 – 200,1	0,47808 – 0,71574

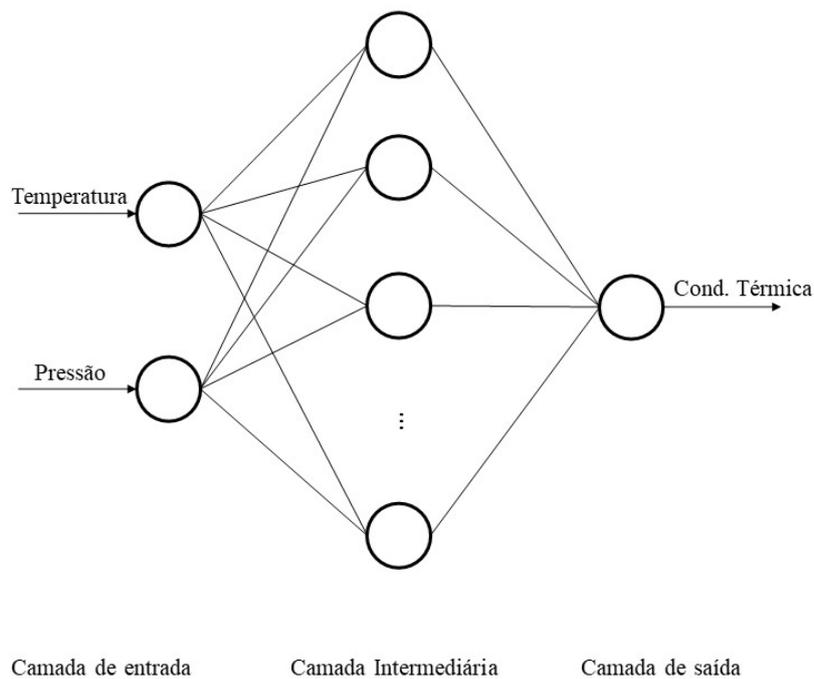
Fonte: Autoria Própria, 2022.

Após coletados os dados de viscosidade e condutividade térmica, foram inseridos os mesmos no software para o treinamento das RNAs. As variáveis de entrada foram a pressão (MPa) e a temperatura (K), a variável de saída foi a condutividade térmica (W/(m.K)) A proposta da estrutura de redes neurais foi apresentado na Figura 2. Todas as simulações foram realizadas utilizando-se o software Matlab©.

Então, diversas configurações de RNAs foram treinadas. A etapa de obtenção consistiu nas etapas de treino, teste e validação, em que os dados coletados foram divididos aleatoriamente na proporção de 70 %, 15 %, e 15 %, respectivamente. Foram testadas RNAs com uma e duas camadas intermediárias. Por não se ter uma metodologia concreta sobre o número exato de neurônios que se deve ter nas camadas, o número de neurônios da camada intermediária (ou camada oculta), foi variado entre 2 e 25.



Figura 4: Estrutura proposta para a RNA.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Para o treinamento das RNAs, as opções escolhidas dentre os algoritmos de otimização disponíveis foram: Levenberg-Marquadt (LM) e Levenberg-Marquardt com regularização bayesiana (BR). Avaliou-se, também, diversas combinações de funções de ativação visando-se determinar o melhor modelo. Optou-se por utilizar as funções de ativação sigmoideal (logsig), base radial (radbas), tangente hiperbólica (tansig) e linear (purelin) na camada da saída, e para a intermediária, além das funções supracitadas também foi considerada a função saturada simétrica (satlins). Os treinamentos foram realizados de modo a fazer uma combinação entre essas funções nas camadas intermediárias e de saída.

Para o treinamento das RNAs, a função objetivo (F_{obj}) minimizada foi média dos erros quadráticos, como pode ser visto na Equação (7):

$$F_{obj} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{h_{i_{exp}} - h_{i_{rede}}}{h_{i_{exp}}} \right)^2 \quad (7)$$

No qual, n é o número de pontos experimentais, $h_{i_{exp}}$ é o valor real, e $h_{i_{rede}}$ é o valor fornecido pela RNA.

Para fazer a checagem da capacidade de interpolação das RNAs treinadas, algumas isotermas foram escolhidas considerando a faixa de T e P da etapa de obtenção. Para isso utilizou-se as temperaturas de 304 K, 369 K, 498 K, 563 K, 576 K, 582 K, 602 K, 608 K, 415 K, 460 K. A pressão então, foi variada da pressão de saturação até 200,1 MPa, com incrementos



de 0,5 MPa. A Tabela 3 mostra os valores de T e P selecionados, bem como a faixa de valores para a variável de saída.

Tabela 3: Faixas de valores obtidas para a simulação.

Temperatura (K)	Pressão (MPa)	Cond. Térmica (W/m*K)
304	0,1 - 200,1	0,61567 – 0,69965
369	0,1 - 200,1	0,67554 – 0,77287
415	0,38087 – 200,1	0,68233 -0,79645
460	1,1709 – 200,1	0,66783 – 0,79958
498	2,5426 – 200,1	0,64118 – 0,79017
563	7,4255 – 200,1	0,56723 – 0,75558
576	8,9381 – 200,1	0,54828 – 0,74652
582	9,7112 – 200,1	0,53879 – 0,74212
602	12,669 – 200,1	0,50394 – 0,72654
608	13,681 – 200,1	0,49235 – 0,72161

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Após a etapa de simulação das RNAs, selecionou-se um modelo que apresentasse os menores erros percentuais médios e maiores coeficientes de correlação de Pearson (ρ) da etapa de simulação como sendo a melhor correlação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a RNA terminar seu treinamento, validação e teste, os resultados são analisados, e são usados alguns critérios de avaliação, para saber qual foi a melhor dentre todas as configurações consideradas. No total foram treinadas mais de 500 estruturas de RNAs diferentes. Na Tabela 4 estão apresentados os resultados obtidos com os treinamentos realizados, que serão discutidos para a escolha da melhor RNA. As estruturas estão apresentadas em ordem crescente de erro médio. Para isso, será levado em consideração: O erro médio da simulação e o ρ na simulação.

Observa-se pela Tabela 4, que o aumento de neurônios na camada oculta, nem sempre leva a uma diminuição no valor do erro médio da simulação. Isso é comum na obtenção de RNAs e é uma consequência da aleatoriedade desse processo.



Tabela 4: 15 melhores RNAs, usando como parâmetro o erro percentual médio e o ρ na simulação.

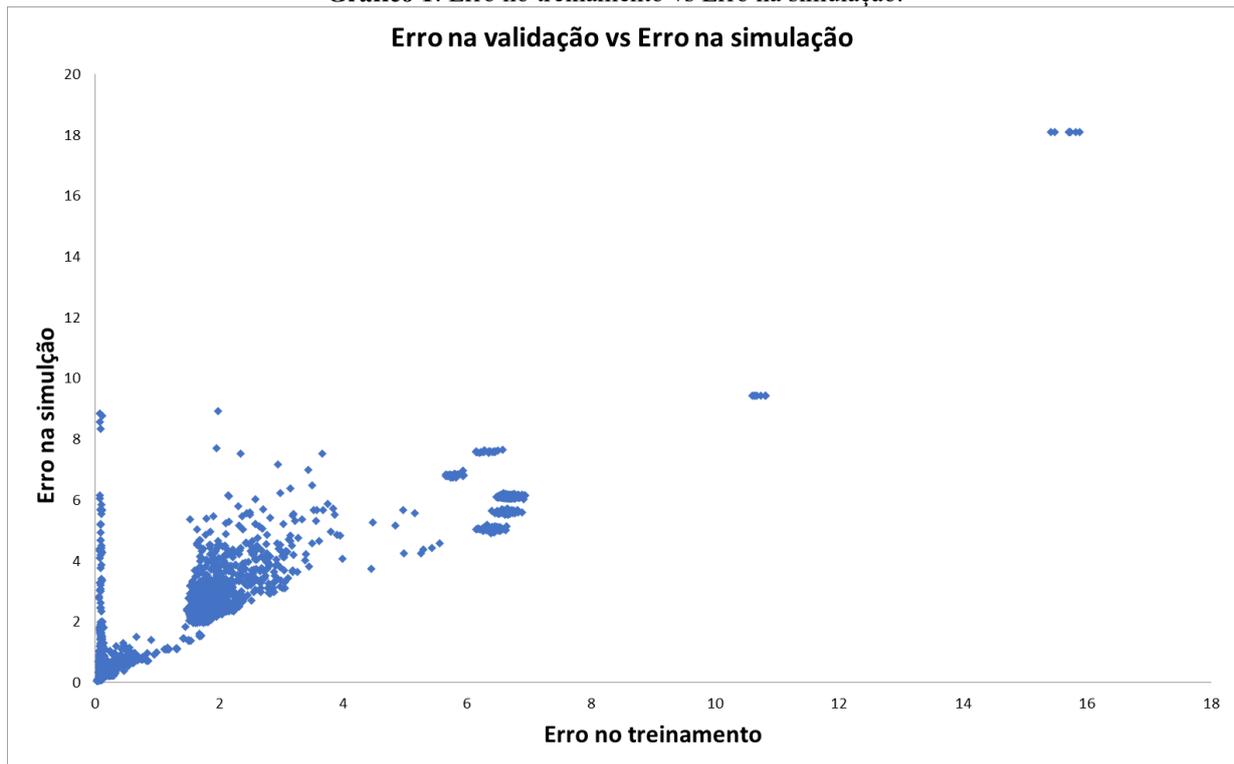
Estrutura	Algoritmo de otimização	Função de ativação	Erro médio da simulação (%)	ρ na simulação
2 – 18 – 1	Trainbr	Logsig – Purelin	0,057	0,9999
2 – 25 – 1	Trainbr	Logsig – Purelin	0,065	0,9999
2 – 20 – 1	Trainbr	Logsig – Purelin	0,069	0,9999
2 – 22 – 1	Trainbr	Radbas – Purelin	0,074	0,9999
2 – 22 – 1	Trainbr	Logsig – Purelin	0,075	0,9999
2 – 24 – 1	Trainbr	Radbas – Purelin	0,076	0,9999
2 – 25 – 1	Trainbr	Logsig – Purelin	0,078	0,9999
2 – 25 – 1	Trainbr	Logsig – Purelin	0,080	0,9999
2 – 24 – 1	Trainbr	Logsig – Purelin	0,080	0,9999
2 – 16 – 1	Trainbr	Radbas – Purelin	0,083	0,9999
2 – 24 – 1	Trainbr	Logsig – Purelin	0,086	0,9999
2 – 22 – 1	Trainbr	Radbas – Purelin	0,087	0,9999
2 – 20 – 1	Trainbr	Logsig – Purelin	0,088	0,9999
2 – 16 – 1	Trainbr	Logsig – Purelin	0,088	0,9999
2 – 24 – 1	Trainbr	Logsig – Purelin	0,088	0,9999

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Da Tabela 4, também pode-se observar como foi o comportamento do erro percentual médio, durante a etapa de simulação. É de suma importância ressaltar que por não ser o fator decisivo, nota-se que não há uma ordem crescente ou decrescente nas colunas da tabela. O motivo de se escolher esse resultado como fator decisivo, está no sobreajuste (Braga et al, 2007) da rede. Uma vez que ela escolhe um bom resultado, acaba ficando presa em um mínimo global, com isso, ela acaba ficando “viciada” nesse mínimo, e como sua configuração não permite uma ‘piora’ em seu treino, ela acaba por não progredir mais. Pode-se observar tal comportamento no Gráfico 1, no qual algumas redes que obtiveram baixo erro no treinamento, mas de maneira antagonista se nota alto erro na etapa de simulação.



Gráfico 1: Erro no treinamento vs Erro na simulação.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Nota-se que para as 15 melhores RNAs, todas utilizaram algoritmo de otimização (BR), o que para este caso mostra sua superioridade em relação à (LM). Além disso todas as camadas de saída possuem como função de ativação (Purelin), já na camada intermediária variou-se entre (Logsig) e (Radbas). Analisando o número de neurônios na camada intermediária, 13 das 15 redes tiveram número de neurônios superior a 20. Esses resultados são bastante semelhantes àqueles obtidos em outros trabalhos do grupo (Melo *et al.*, 2020; Ottaiano *et al.*, 2021).

Segundo Nowruzi e Ghassemi (2016), quanto maior o ρ , melhor será o treinamento da rede, valores quais podem ser observado na Tabela 4. Em geral, todos os treinamentos se mostraram satisfatórios quanto essa característica, que seu erro médio na etapa de simulação foi de 0,9999 para as 15 primeiras redes.

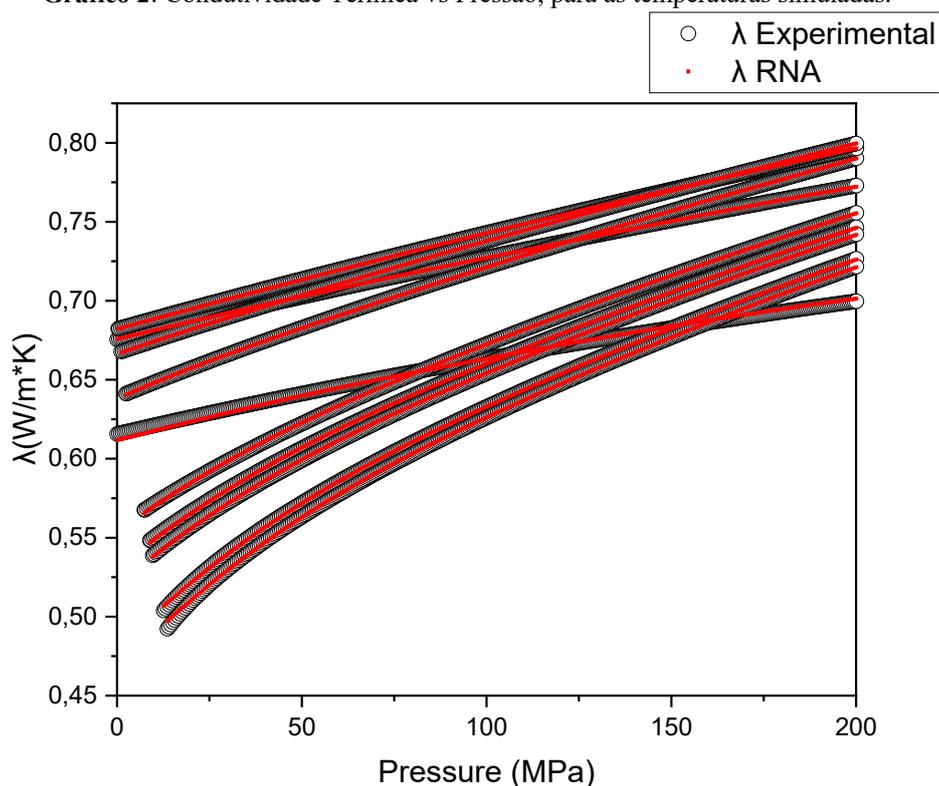
Dessa forma, percebe-se que a F_{obj} não foi fator decisivo na hora de sua escolha. Essa é uma análise esperada, visto que nem sempre um menor valor de F_{obj} leva a uma maior precisão, devido ao fenômeno de sobreajuste (Braga et al, 2007). Assim, definiu-se como melhor RNA de uma camada a que possuía 18 neurônios na camada intermediária. As estruturas treinadas possuem uma configuração para uma camada sendo x-y-z, onde x e z correspondem aos neurônios da entrada e saída, respectivamente, e o y corresponde ao número neurônios na camada oculta. Por isso, a estrutura repete o número 2 na entrada e 1 saída, uma vez que a



informação na entrada são a pressão e a temperatura, e na saída a condutividade térmica, enquanto o y é variado aleatoriamente dentro de um intervalo predefinido.

Considerando a estrutura 2-18-1-logsig-purelin (que foi a melhor configuração), foi construído o gráfico para as condições simuladas, em que não eram conhecidas pela RNA. Os resultados são apresentados no Gráfico 2. Pode-se notar, nessa Figura, que a RNA foi capaz de simular as condições de T e P com bastante precisão, corroborando com os bons resultados apresentados nas etapas de obtenção.

Gráfico 2: Condutividade Térmica vs Pressão, para as temperaturas simuladas.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Por fim, este trabalho tinha como objetivo obter uma rede capaz de calcular a condutividade térmica da água. Observamos que os resultados foram bastante satisfatórios, assim como obtido em outros trabalhos que usaram redes neurais para estimar os valores de propriedades termodinâmicas (Melo *et al.*, 2020; Ottaiano *et al.*, 2021). Dessa forma, isso mostra que as redes podem ser uma ferramenta importante para o cálculo de propriedades termodinâmicas, especialmente visando aplicação em controladores, por se tratar de uma equação de rápida solução computacional.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se observar a partir dos estudos feitos sobre a água, na fase líquida, utilizando Redes Neurais Artificiais como método para generalização, do poder de generalização das RNAs para prever efeitos termodinâmicos como a condutividade térmica nas faixas de temperaturas com a variação de pressão, resultados muito satisfatórios.

A rede neural provou seu valor, uma vez que tais parâmetros são de difíceis obtenção, principalmente por meio de equações já existentes. Os erros obtidos foram baixíssimos, e a estrutura treinada, considerando outras estruturas maiores, superou muito o esperado, tendo em vista sua menor complexidade.

O algoritmo também mostrou seu poder de interpolação de dados, com altas capacidades, uma vez que os gráficos gerados são feitos a partir dos dados experimentais, e dos dados obtidos a partir da interpolação da RNA.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, J. D. S.; FRESQUI, M.; TRSIC, M. **Curso de Química para Engenharia: Água**. Barueri - SP: Editora Manole LTDA., 2014.

BEALE, E. A derivation of conjugate gradients. **Numerical methods for nonlinear optimization**, p. 39-43, 1972.

BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P. L.; LUDERMIR, T. B. **Redes neurais artificiais: teoria e aplicações**. 2a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

BRAGA, M. B.; MARTINS, T. D.; LOUZI, V. C. A.; GIANNELLA, R. L.; FUJITA, V. K.; ROCHA, S. C. S. Spouted bed drying of milk–blackberry mixture: Material thermal properties and process energy aspects. v. 44, n. 5, p. e13678, 2021.

GHADERI, F.; GHADERI, A.; GHADERI, N.; NAJAFI, B. Prediction of the Thermal Conductivity of Refrigerants by Computational Methods and Artificial Neural Network. **Frontier in Chemistry**, v. 5, n. 99, 2017.

HAYKIN, S. **Neural Networks – A Comprehensive Foundation**. Delhi: Prentice Hall, 2005.

HUBER, M. L.; PERKINS, R. A.; FRIEND, D. G.; SENGERS, J. V.; ASSAEL, M. J.; METAXA, I. N.; MIYAGAWA, K.; HELLMANN, R.; VOGEL, E. New International Formulation for the Thermal Conductivity of H₂O. v. 41, n. 3, p. 033102, 2012.

LEMMON, E. W.; MCLINDEN, M. O.; FIEND, D. G. **Thermophysical Properties of Fluid Systems in NIST Chemistry Web Book**. Disponível em: <HTTP://WEBBOOK.NIST.GOV>. Acesso em: 7 de Junho de 2022



MARQUARDT, D. W. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. **Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics**, v. 11, n. 2, p. 431-441, 1963.

MARTINS, T. D. Predição da recorrência de tromboembolismo venoso via redes neurais artificiais. p. 41-55, 2018.

MELO, E. B.; OLIVEIRA, E. T.; MARTINS, T. D. A neural network correlation for molar density and specific heat of water: Predictions at pressures up to 100 MPa. **Fluid Phase Equilibria**, v. 506, p. 112411, 2020.

NOWRUZI, H.; GHASSEMI, H. Using artificial neural network to predict velocity of sound in liquid water as a function of ambient temperature, electrical and magnetic fields. **Journal of Ocean Engineering and Science**, v. 1, n. 3, p. 203-211, 2016.

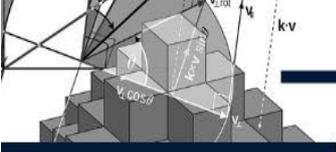
OTTAIANO, G. Y.; DA CRUZ, I. N. S.; DA CRUZ, H. S.; MARTINS, T. D. Estimation of vaporization properties of pure substances using artificial neural networks. **Chemical Engineering Science**, v. 231, p. 116324, 2021.

POWELL, M. J. D. Restart procedures for the conjugate gradient method. **Mathematical programming**, v. 12, n. 1, p. 241-254, 1977.

RATNA, D. Thermal properties of thermosets. **Thermosets: Structure, Properties and Applications**, p. 62-91, 2012.

RIEDMILLER, M.; BRAUN, H. **RPROP-A fast adaptive learning algorithm**. Proc. of ISICIS VII), Universitat: Citeseer, 1992a.

STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. S. **Refrigeração Industrial**. 2 ed. São Paulo, SP: Edgard Blucher LTDA., 2002.



CAPÍTULO 15

DIAGNÓSTICO DE FALHAS NO TENNESSEE EASTMAN PROCESS VIA REDES NEURAIS ARTIFICIAIS¹

Mateus de Paiva Moretto
Luiz Daniel Bianchin
Brunno Ferreira dos Santos
Tiago Dias Martins

RESUMO

A indústria 4.0 é marcada pela exigência de um bom desempenho do processo de produção. Nesse contexto é de extrema importância diagnosticar falhas nesses sistemas de maneira otimizada e uma das alternativas é de se utilizar as Redes Neurais Artificiais (RNAs), pois trata-se de um algoritmo capaz de modelar problemas não-lineares que consegue generalizar sua solução. Neste estudo desenvolveram-se duas metodologias para diagnosticar falhas no Tennessee Eastman Process (TEP). Primeiramente foi realizada a simulação do processo em seu funcionamento padrão e posteriormente gerou-se 8 falhas em diferentes níveis de magnitude que resultou em uma matriz que foi dividida para a etapa de obtenção e simulação das Redes Neurais Artificiais. A primeira metodologia aplicada consistiu em modelar uma única RNA capaz de diagnosticar se há e qual é a falha do processo. A segunda dividiu as saídas em dois conjuntos para encontrar um único modelo de maior precisão para cada grupo. No primeiro resultado foi possível obter um modelo com TPRmicro de 77,02% enquanto para o segundo caso uma rede teve um TPRmicro de 87,10% e a outra, apesar de não apresentar um bom TPRmicro possuía todas as saídas com acurácias maiores que 69%. Tais resultados evidenciam a capacidade das Redes Neurais Artificiais em diagnosticar as falhas de um processo complexo como o TEP e também a importância de se analisar minuciosamente cada variável e não ficar preso a apenas um parâmetro para escolha do melhor modelo.

PALAVRAS-CHAVE: Tennessee Eastman Process; Diagnóstico de falhas; Controle de processos; Automação Industrial; Simulação de processos.

INTRODUÇÃO

A recente quarta revolução industrial, conhecida também como era da indústria 4.0 é marca pela junção, através da tecnologia e da internet, das realidades físicas e virtuais. O termo indústria 4.0 teve origem na Feira de Hannover de 2011, na Alemanha, como uma estratégia para o desenvolvimento da alta tecnologia no âmbito industrial do país (Moraes, 2019).

¹ Projeto financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Processo: 2020/04216-1.



Essa era é marcada pela busca da minimização das perdas econômicas, a garantia de maior segurança e a exigência do bom desempenho do processo de produção e tornou-se uma crescente inquestionável do século atual (Tinós, 1999).

Conforme essa prática se populariza e evolui, surge a necessidade de desenvolver programas capazes de diagnosticar as falhas presentes nestes processos. Taqvi *et al.* (2017) cita diversas vantagens para implementação estratégias detectoras de falhas em indústrias automatizadas, dentre elas maior segurança e diminuição nos esforços do operador, melhoras na eficácia de produção, e aumento na probabilidade de garantir uma produção contínua. Esse estudo é essencial para as empresas modernas que desejam ser relevantes e buscam manter a qualidade de seu produto final. (Heo; Lee, 2018).

Uma falha em um sistema dinâmico pode ser entendida como qualquer mau funcionamento de um dos componentes que leve a uma perda de desempenho não aceitável na execução da tarefa. Elas são classificadas em dois tipos: falhas abruptas, que geralmente causam a parada de toda a planta industrial ou de um equipamento em específico e as falhas de modo lento, que ocorrem gradualmente, ocasionando uma perda de desempenho do sistema e sobrecarga nos componentes (Tinós, 1999).

Neste contexto o diagnóstico de falhas é extremamente importante para o controle do processo pois além de detectar ele também localiza em qual área da planta está o defeito e cita a causa que originou esta falha com o objetivo de efetuar ações corretivas a fim de restaurar o sistema para seu estado de normalidade (Lo *et al.*, 2019).

Uma das alternativas para reduzir esses efeitos indesejados do sistema é a utilização de equipamentos (como sensores e atuadores redundantes) todavia tal opção pode ser inviável para uma empresa seja por conta de seu poder aquisitivo ou limitações físicas de espaço (Tinós, 1999).

A modelagem matemática também é um recurso inviável para detectar falhas em ambientes com comportamento dinâmicos e muito complexos. Neste tipo de contexto surgem as Redes Neurais Artificiais (RNAs) como uma boa alternativa, pois trata-se de um algoritmo capaz de modelar problemas não-lineares e que, após a aplicação de uma boa metodologia e de uma base de dados confiável, é capaz de generalizar sua solução para resolver problemas semelhantes e não é necessário a utilização de componentes físicos adicionais.

Há diversos estudos que utilizam outras inteligências artificiais para resolver os problemas da Engenharia Química (Anbarzhagan *et al.*, 2019; Bannoud, 2019; Choji *et al.*,



2019; Bianchin, 2021), isso comprova que tal ferramenta é muito eficaz e versátil e incentivou a ideia de utilizar o mesmo princípio no problema em questão.

A Eastman Chemical Company é uma empresa norte americana de produtos químicos que criou um *benchmark* para estudo, controle e simulação de um processo industrial químico real, o *Tennessee Eastman Process* (TEP).

A ideia teve origem com o objetivo de disponibilizar um processo realista como fonte de dados para análise de diferentes abordagens de estudo (Nashalji *et al.*, 2010). Trata-se de um sistema em malha aberta de alta complexidade e eficiência para geração de dados com boa similaridade de um processo real.

Neste simulador os reagentes gasosos A, C, D e E junto com o gás inerte B são alimentados no reator para formar os líquidos G, H, e o subproduto F. As reações (Equações 1-4) são exotérmicas, irreversíveis, e praticamente de primeira ordem. As taxas de reação são funções da equação de Arrhenius na qual a reação da Equação (1) é mais sensível em relação à temperatura e tem uma energia de ativação maior que a reação da Equação (2) (Chiang *et al.*, 2000).

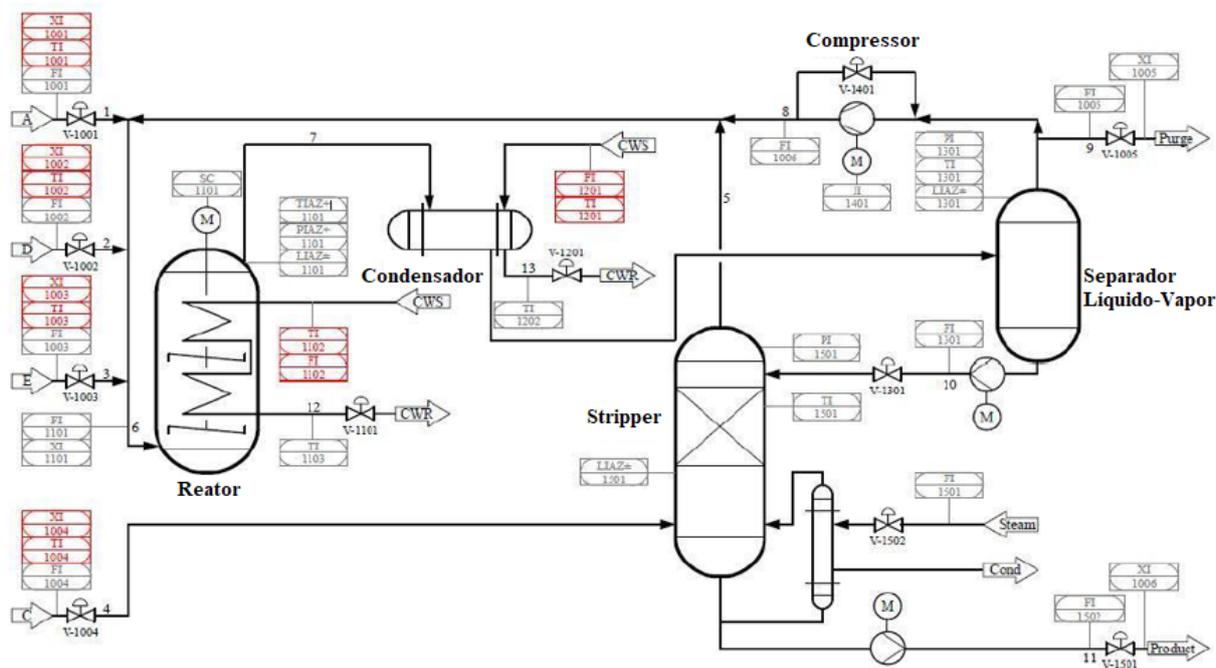


O processo possui 4 operações unitárias principais: um compressor, um condensador, um stripper, um separador líquido-vapor e também um reator. Todos os reagentes são gasosos e alimentados ao reator no qual está presente um catalisador não volátil dissolvido na fase líquida. Dentro do reator há uma serpentina que remove o calor da reação.

Uma mistura de produtos e reagentes gasosos deixa o reator e passa por um condensador e entra em um separador líquido-vapor. Os componentes no topo retornam ao reator e passam pelo compressor centrífugo enquanto os componentes líquidos deixam o separador e vão a um *stripper* para que os reagentes sejam arrastados novamente à corrente de reciclo do reator. Os produtos em estado líquido deixam a base do *stripper* e são direcionados para uma seção de refino que não faz parte do modelo (Downs; Vogel, 1993). A Figura 1 mostra o processo de forma sucinta.



Figura 5: P&ID do Tennessee Eastman Process revisado, em vermelho observa-se as variáveis medidas adicionais.



Fonte: Adaptado de Bathelt et al., 2015.

Outros estudos utilizaram as Redes Neurais Artificiais para modelar situações do TEP (Sorsa; Koivo, 1993; Maki; Loparo, 1997; Lomov *et al.*, 2021) e todos conseguiram resultados promissores. Portanto é possível deduzir que, a partir de uma metodologia correta, é possível criar um único modelo de RNA capaz de diagnosticar falhas em processos com uma ótima precisão.

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi de modelar uma Rede Neural Artificial para o diagnóstico de falhas no processo de Tennessee Eastman e analisar detalhadamente os resultados, desde discutir os resultados da matriz confusão até estudar os parâmetros da curva ROC e as acurácias do modelo proposto.

MATERIAL E MÉTODOS

COLETA DOS DADOS

O banco de dados foi coletado através da ferramenta Simulink 6.0 do Software Matlab 2017b e foi utilizada uma adaptação do algoritmo do TEP proposta por Bathelt *et al.* (2015).

Para gerar um conjunto de dados com menos ruídos considerou-se apenas as 41 variáveis inicialmente propostas por Downs; Vogel (1993). Além das variáveis medidas, apesar do TEP possuir 28 falhas e neste estudo fora considerada apenas 7 falhas degraus e 1 randômica, a escolha destas falhas deve-se ao fato de variáveis degraus serem mais facilmente modeladas



por uma Rede de classificação, a falha randômica foi escolhida pois compõe parte crucial do processo (a composição dos reagentes na entrada), todas são apresentadas na Tabela 1.

A priori foi realizada a simulação do processo em seu funcionamento padrão em um intervalo de tempo igual a 0,0034 h até completar 72 h. Posteriormente gerou-se as falhas no processo ao provocar perturbações nas falhas 1 à 8 ao aumentar seu valor de 25% em 25% até atingir 100%, para considerar o impacto de cada falha no conjunto de variáveis. O intervalo de tempo utilizado em cada uma destas simulações foi de 0,01 h até o tempo de 72 h. Isso foi feito para garantir que o número de observações com falhas e sem falhas fosse igual. Toda a base de dados consistiu em uma matriz com 42207 linhas (observações) e 41 colunas (variáveis de entrada/processo).

Tabela 1: Falhas no TEP.

Variável	Descrição	Corrente	Tipo
Falha 1	Razão de entrada A/C composição de B constante	4	Degrau
Falha 2	Composição de B, razão A/C constante	4	Degrau
Falha 3	Temperatura de entrada de D	2	Degrau
Falha 4	Temperatura de entrada da água de resfriamento do reator	N/A	Degrau
Falha 5	Temperatura de entrada da água de resfriamento do condensador	N/A	Degrau
Falha 6	Perda de entrada de A (corrente 1)	N/A	Degrau
Falha 7	Queda de pressão de C, disponibilidade reduzida	1	Degrau
Falha 8	Composição da entrada de A, B e C	4	Variação Randômica

Fonte: Autoria própria, 2022.

OBTENÇÃO E SIMULAÇÃO DA RNA

Bianchin (2021) reduziu o total de 41 variáveis de entrada para 23 através da análise de componentes principais (PCA) contemplou-se mais de 85% da variância dos dados. Esse conjunto reduzido de variáveis pode ser usado para obtenção de modelos para o processo sem grande perda de informação.

No trabalho de Bianchin (2021) foi obtida uma planilha com 42407 observações referentes às 23 variáveis do TEP da qual agrupou-se em quatro conformações diferentes e Moretto *et al.* (2022) estudou o desempenho das Redes Neurais Artificiais frente a cada conjunto, do qual concluiu-se que a quarta conformação era a mais adequada para este problema.

A matriz em questão possuía 16884 observações para a etapa de obtenção da Rede Neural das quais 70% dos dados eram designados para o treinamento, 15% para o teste e 15%



para a validação do modelo. O restante das observações disponíveis fora utilizado na simulação das RNAs obtidas.

As estruturas modeladas continham duas camadas intermediárias e entre 5 e 35 neurônios. A saída dos modelos foi a identificação de cada falha no formato sim/não, no qual sim significa que há defeitos e não que o processo discorre normalmente. A função objetivo a ser minimizada será a Equação (5).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (h_{j,exp} - h_{j,RNA})^2 \quad (12)$$

No qual j o índice que identifica qual o dado, n é o número total de dados, h_{RNA} o resultado da RNA e h_{exp} o resultado simulado no TEP. As funções de ativação e algoritmos de treinamentos testados são descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Funções de ativação e algoritmos de treinamento utilizados neste estudo.

Função de ativação	Algoritmo de treinamento
Tangente hiperbólica (tansig)	Levenberg Marquardt (trainlm - Marquardt (1963))
Sigmoidal (logsig)	Levenberg Marquardt com Regularização Bayesiana (trainbr - Mackay (1992))
Linear (purelin)	Resilient Back-Propagation (trainrp – (Riedmiller; Braun, 1992))
Base radial (radbas)	Powell-Beale (trainrp - (Beale, 1972; Powell, 1977))
Linear saturada simétrica (satlins)	
Softmax	

Fonte: Autoria própria, 2022.

A priori modelou-se um único modelo de Rede Neural com 9 saídas (8 referentes a cada falha da Tabela 1 e a 9ª relacionada com o processo sem falhas). Posteriormente foi necessário dividir as falhas em dois grupos, no primeiro estava presente as saídas 1,2,3,6,8 e 9 enquanto no segundo as saídas 4,5,7 e 9. A partir dessa divisão modelou-se uma única RNA para cada conjunto de dados.

No caso da segunda RNA estudada, notou-se, após uma análise gráfica, que o banco de dados atual não possuía discrepâncias suficientes entre as observações com falha e sem falha a ponto do modelo distinguir satisfatoriamente esses resultados, portanto foi necessário a utilização da média móvel nas variáveis das quais essa diferença era imperceptível.



MÉDIA MÓVEL ARITMÉTICA

A média móvel aritmética é uma média móvel simples (Equação 6) porém o cálculo ocorre de forma iterativa, determina-se um período de tempo (n) no qual foi calculada a média para as observações X_i correspondentes a este intervalo. A próxima média despreza o primeiro valor e o valor em n+1 assume sua posição, para manter o intervalo sempre constante. Desta forma, o resultado da média varia conforme há um novo valor temporal do processo a ser adicionado (Machado, 2018).

$$M_s = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (13)$$

MATRIZ CONFUSÃO

A Matriz de confusão é uma matriz $C_{k,k}$ no qual cada entrada $C_{i,j}$ contém o número de dados de entrada de classe i classificados como sendo de classe j. Essa métrica estatísticas é muito utilizada em problemas de classificação para melhor entendimento dos resultados encontrados. Ela demonstra através de cálculos a capacidade da RNA em acertar ou não as saídas. Por meio dela é possível atestar estatisticamente a confiabilidade dos resultados encontrados.

A partir da matriz gerada, calculou-se os parâmetros da matriz confusão apresentados nas Equações 7-11.

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN} \quad (14)$$

$$FNR = \frac{FN}{FN + TP} \quad (15)$$

$$LR+ = \frac{TP}{TP + FN} \cdot \frac{FP + TN}{FP} \quad (16)$$

$$LR- = \frac{FN}{FN + TP} \cdot \frac{TP + FP}{TP} \quad (17)$$

$$Acc = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (18)$$

No qual TP representa True Positive (verdadeiros positivos – indica quantas observações com falha a rede detectou), FP é False Positive (falsos positivos – indica quando o processo operava normalmente porém a rede detectou como falha), TN é True Negative



(verdadeiros negativos – indica quantas observações sem falha a rede detectou), FN é False Negative (falsos negativos – indica quando houve falha porém a rede não foi capaz de detectá-la), FNR é False Negative Rate (taxa de falsos negativos), FPR é False Positive Rate (taxa de falsos positivos), LR – é Negative Likelihood Ratio (Razão de semelhança negativa), LR+ é Positive Likelihood Ratio (Razão de semelhança positiva) e Acc é a Acurácia.

A partir da análise da AUC é possível escolher o threshold (limiar) da análise classificatória e por meio dele os valores de verdadeiros positivos e negativos como também de falsos positivos e negativos são definidos. Tal fato ocorre porque a RNA apenas entrega variáveis contínuas como resposta, por conta disso é necessário estabelecer esse limiar que indica para o algoritmo a partir de qual valor a saída será considerada como falha ou não.

A eficiência da Rede Neural foi avaliada com base na minimização da função objetivo (Equação 5), análise dos parâmetros obtidos na matriz confusão e da curva ROC (Receiver Operating Characteristic) além da acurácia (Acc) dos modelos perante aos dados de simulações. A seleção das melhores estruturas foi realizada a partir de um AUC maior que 0,6 e pela análise do TPRmicro. As simulações foram realizadas em um computador intel i9 de 11º geração no Departamento de Engenharia Química de Materiais da PUC-RJ.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No total, foram treinadas cerca de 40000 configurações de RNAs diferentes, da qual cerca de 9000 modelos são referentes à primeira metodologia aplicada, 4500 para a 1º RNA da segunda metodologia e 27500 para a 2º RNA. Dos quatro algoritmos de treinamento utilizados apenas o de Levenberg-Marquardt (trainlm) e de Levenberg-Marquardt com Regularização Bayesiana (trainbr) convergiram para resultados satisfatórios altas acurácias na etapa de simulação. Para uma melhor discussão dos resultados as metodologias foram divididas em primeira estratégia e segunda estratégia de ação.

PRIMEIRA ESTRATÉGIA

A primeira estratégia diz respeito a única Rede Neural Artificial que modelou o diagnóstico de todas as falhas simultaneamente, na Tabela 3 são apresentadas as 10 melhores estruturas encontradas neste estudo e em destaque a que foi considerada o melhor modelo a partir dos índices estatísticos.

Vale salientar que tanto para essa estratégia quanto para a próxima todas as estruturas apresentadas possuíam um AUC maior de 0,60 para todas as saídas, tal critério foi estabelecido como fundamental para um bom resultado da RNA.



Tabela 3: Melhores RNAs da primeira estratégia.

Identificação	Configuração	TPRtreino	TPRvalid	TPRteste	TPRsimul
trainbr					
Rede I	23-32-28-9 tansig-tansig-tansig	0,780	0,717	0,760	0,770
Rede II	23-25-33-9 tansig logsig tansig	0,776	0,712	0,738	0,760
Rede III	23-25-33-9 tansig tansig tansig	0,764	0,696	0,719	0,752
Rede IV	23-32-28-9 tansig tansig tansig	0,782	0,734	0,757	0,749
Rede V	23-32-35-9 tansig logsig purelin	0,791	0,692	0,762	0,744
Trainlm					
Rede VI	23-32-33-9 tansig logsig tansig	0,784	0,699	0,765	0,767
Rede VII	23-34-28-9 logsig logsig purelin	0,805	0,719	0,756	0,757
Rede VIII	23-34-35-9 logsig tansig purelin	0,798	0,676	0,747	0,754
Rede IX	23-29-35-9 tansig logsig tansig	0,770	0,719	0,754	0,754
Rede X	23-25-35-9 logsig logsig purelin	0,771	0,726	0,750	0,751

Fonte: Autoria própria, 2022.

Ao analisar a Tabela 3 é possível notar algumas semelhanças entre as estruturas encontradas, percebe-se que somente metade das funções de ativação testadas aparecem entre as melhores estruturas e função tangente hiperbólica (tansig) é predominante em todas as camadas da RNA. Outra característica a ser ressaltada é que todas as estruturas da Tabela 3 possuem mais de 20 neurônios em ambas as camadas intermediárias, tal fato evidencia a necessidade de possuir um equipamento atualizado tecnologicamente para suprir tamanha capacidade computacional pois quanto maior o número de neurônios, mais ponderações e ajustes nos pesos e bias são necessários até a convergência de um resultado final.

Para todas as Tabelas de melhores estruturas encontradas de ambas as estratégias o parâmetro em destaque é o TPRmicro, essa variável representa a razão entre todos os verdadeiros positivos em relação a todos os verdadeiros (TP + FN) de cada etapa de obtenção e simulação dos modelos, através dela é possível ter uma noção global do desempenho da RNA frente aos dados apresentados. Por conta disso esse parâmetro foi destacado e está presente nas Tabelas de resultados.

Porém apenas a avaliação do TPRmicro de cada estrutura não é suficiente para definir um bom modelo, principalmente quando há um grande número de variáveis e resultados a serem analisados. Devido a este fato foi analisada também a matriz confusão da estrutura em destaque assim como também a acurácia de cada saída, os resultados estão na Tabela 4.

Dentre as quatro etapas estudadas de cada modelo (treinamento, teste, validação e simulação) a última foi determinada como a mais importante para considerar um bom resultado,



tendo em vista que na simulação a RNA prevê dados dos quais não participaram da sua etapa de obtenção, que é justamente o que ocorre caso ela seja testada em uma planta industrial.

Devido à explicação anterior, neste trabalho será apresentado apenas a matriz de confusão da etapa de simulação da melhor estrutura, para assim conseguir uma melhor visualização dos resultados sem prejudicar a confiabilidade da análise.

Tabela 4: Matriz de confusão da melhor estrutura da primeira estratégia.

	TP	TN	FP	FN	FPR	FNR	LR+	LR-	Acc (%)
1	1291	30752	80	437	0,003	0,253	287,935	0,253	98,41
2	1287	30797	35	441	0,001	0,255	656,098	0,255	98,54
3	1152	24471	6360	577	0,206	0,334	3,230	0,420	78,69
4	1155	13463	17369	573	0,563	0,332	1,186	0,759	44,90
5	1266	11338	19493	463	0,632	0,268	1,158	0,728	38,71
6	131	31973	23	433	0,001	0,768	323,117	0,768	98,60
7	1246	12262	18570	482	0,602	0,279	1,197	0,701	41,49
8	1288	30572	260	440	0,008	0,255	88,389	0,257	97,85
9	16260	6519	6143	3638	0,485	0,183	1,684	0,355	69,96

Fonte: Autoria própria, 2022.

A matriz de confusão permite ter uma noção mais clara dos resultados obtidos pelos modelos, pois a partir dela é possível checar a quantidade de acertos e erros da Rede Neural (TP e TN indicam os acertos – True Positive e True Negative – enquanto FP e FN os erros – False Positive e False Negative).

Dois parâmetros são principais ao analisar a Tabela 4, a acurácia para compreender quanto o modelo está próximo dos resultados utilizados na simulação e o número de falsos negativos (FN). O último deve ser o menor valor possível pois para um bom modelo de controle de processos não deve ignorar quando há uma falha no sistema, e o falso negativo é justamente a situação na qual uma das falhas está acontecendo, porém, a RNA não foi capaz de detectá-la.

Outros parâmetros também são relevantes como a taxa de falsos negativos (FNR) e positivos (FPR) que quanto menor melhor e o valor de LR+ que indica a probabilidade do resultado estar correto dividido pela probabilidade do resultado estar errado. (quanto maior o resultado, maior a chance de o modelo indicar um TP).

SEGUNDA ESTRATÉGIA

Apesar da primeira estratégia apresentar um bom TPRmicro, ao ser analisado a acurácia de cada saída separadamente observou-se que, para certas saídas específicas a acurácia permaneceu abaixo de 60%, portanto como estratégia e tentativa de obter resultados mais precisos com a realidade dividiu-se as 8 falhas em duas Redes Neurais Artificiais distintas, a



primeira para todas as falhas acima de 60% de acurácia (1,2,3,6,8 e 9, no qual a última representa o processo sem falha) e outra apenas para as falhas com baixa acurácia (4,5,7 e 9).

1º REDE NEURAL ARTIFICIAL

Semelhantemente à estratégia anterior, na Tabela 5 são apresentadas as 10 melhores estruturas encontradas neste estudo e destacou-se o melhor modelo segundo os índices estatísticos.

Tabela 5: Melhores modelos da 1º RNA da segunda estratégia.

Identificação	Configuração	TPRtreino	TPRvalid	TPRteste	TPRsimul
trainbr					
Rede I	23-29-10-6 tansig-softmax-tansig	0,798	0,778	0,789	0,884
Rede II	23-14-31-6 tansig-logsig-tansig	0,825	0,783	0,821	0,872
Rede III	23-8-10-6 logsig-softmax-purelin	0,830	0,777	0,775	0,870
Rede IV	23-29-16-6 softmax-logsig-tansig	0,822	0,734	0,835	0,861
Rede V	23-14-16-6 logsig-tansig-tansig	0,828	0,759	0,813	0,861
Trainlm					
Rede VI	23-21-16-6 logsig-softmax-tansig	0,843	0,716	0,816	0,871
Rede VII	23-8-10-6 logsig-tansig-tansig	0,833	0,759	0,830	0,868
Rede VIII	23-29-31-6 logsig-softmax-tansig	0,812	0,704	0,810	0,864
Rede IX	23-21-16-6 logsig-logsig-tansig	0,842	0,754	0,824	0,864
Rede X	23-14-16-6 logsig-tansig-purelin	0,840	0,782	0,836	0,863

Fonte: Autoria própria, 2022.

Diferentemente da estratégia anterior, na Tabela 5 é possível observar uma variedade maior de parâmetros presentes, com um intervalo do número de neurônios muito maior para cada camada e a presença da função de ativação softmax. Entretanto a tangente hiperbólica continua sendo a função com maior presença nos melhores resultados, tal fato indica uma tendência de melhores ajustes do modelo utilizando esta função.

Houve uma notória diferença nos valores de TPR para todas as etapas de obtenção e simulação dos modelos, seus resultados aumentaram consideravelmente e tal fato pode indicar que ao separar as saídas a RNA teve uma facilidade maior em modelar o problema em questão.

Para este caso a melhor estrutura foi a Rede VI da Tabela 5 e é possível perceber que, mesmo com o mesmo banco de dados, apenas ao mudar a estratégia das variáveis de entrada os parâmetros ajustáveis das Redes Neurais também mudaram significativamente, com a presença de um número menor de neurônios nas camadas intermediárias como também a função softmax mencionada anteriormente. Esse tipo de resultado é um bom exemplo da varredura que deve ser feita ao se estudar as RNAs, é preciso testar o maior número de combinações possíveis e



variando ao máximo os algoritmos de treinamento, neurônios e funções de ativação para validar o método escolhido.

Na Tabela 6 está presente o resultado da matriz de confusão do melhor modelo para esta estratégia, bem como a acurácia alcançada.

Tabela 6: Matriz de confusão da melhor estrutura, 1ª rede e segunda estratégia.

	TP	TN	FP	FN	FPR	FNR	LR+	LR-	Acc (%)
1	1293	25584	63	435	0,002	0,252	304,615	0,252	98,18
2	1286	25645	2	442	7,80E-05	0,256	9543,415	0,256	98,38
3	1233	18773	6873	496	0,268	0,287	2,661	0,392	73,08
6	127	26807	4	437	1,49E-04	0,775	1509,307	0,775	98,39
8	1277	25484	163	451	0,006	0,261	116,278	0,263	97,76
9	18629	4156	3321	1269	0,444	0,064	2,108	0,115	83,23

Fonte: Autoria própria, 2022.

Ao comparar as Tabelas 4 e 6 foi possível perceber que, para as falhas modeladas por essa 1ª Rede Neural da segunda estratégia, os resultados melhoraram consideravelmente. Ademais demonstra como o TPRmicro pode indicar, a priori, o desempenho do modelo frente ao banco de dados.

2ª REDE NEURAL ARTIFICIAL

Na Tabela 7 são apresentados as 10 melhores Redes Neurais Artificiais para modelar as saídas 4,5,7 e 9. Destacou-se novamente o melhor resultado.

Tabela 7: Melhores modelos da 2ª RNA da segunda estratégia.

Identificação	Configuração	TPRtreino	TPRvalid	TPRteste	TPRsimul
trainbr					
Rede I	23-23-28-4 tansig purelin tansig	0,743	0,378	0,732	0,359
Rede II	23-27-21-4 tansig tansig tansig	0,724	0,545	0,566	0,558
Rede III	23-31-21-4 tansig logsig tansig	0,704	0,412	0,536	0,435
Rede IV	23-10-30-4 tansig logsig tansig	0,662	0,485	0,574	0,515
Rede V	23-28-30-4 softmax purelin tansig	0,736	0,874	0,622	0,587
Rede VI	23-28-30-4 tansig logsig purelin	0,729	0,204	0,680	0,206
Rede VII	23-8-30-4 tansig softmax tansig	0,712	0,927	0,717	0,623
Trainlm					
Rede VIII	23-30-30-4 tansig softmax tansig	0,673	0,575	0,564	0,476
Rede IX	23-28-10-4 purelin-logsig-tansig	0,689	0,870	0,642	0,475
Rede X	23-8-10-4 logsig purelin tansig	0,693	0,933	0,664	0,505

Fonte: Autoria própria, 2022.

Neste caso as estruturas voltaram a uma tendência parecida com o que ocorreu na primeira estratégia, com muitos neurônios nas camadas intermediárias e tansig como principal função de ativação, porém houve algumas exceções e a presença da função softmax novamente.



Pode-se notar que não há estruturas que utilizaram a função radbas e convergiram para bons resultados neste estudo.

Após uma análise da Tabela 7 é possível notar que para o 2º modelo de RNA desta estratégia os melhores modelos não apresentaram valores de TPRmicro satisfatórios, tal fato ocorreu porque as estruturas com os melhores resultados destes parâmetros possuíam pelo menos um AUC menor que 0,6 (algumas com valor igual a zero) e, portanto, foram descartadas da análise. Para este caso determinou-se o desempenho das RNAs através das acurácias dos resultados obtidos, como demonstra a Tabela 8 juntamente com a matriz confusão do melhor modelo.

Tabela 8: Matriz confusão da melhor estrutura, 2º rede e segunda estratégia.

	TP	TN	FP	FN	FPR	FNR	LR+	LR-	Acc (%)
4	692	4049	1066	1012	0,208	0,594	1,949	0,750	69,53
5	239	4678	436	1466	0,085	0,860	1,644	0,940	72,11
7	233	4590	523	1473	0,102	0,863	1,335	0,962	70,73
9	1283	4849	266	421	0,052	0,247	14,478	0,261	89,93

Fonte: Autoria própria, 2022.

Ao comparar as acurácias entre as estratégias tende-se a perceber que este caso convergiu para melhores resultados, porém com uma análise mais cautelosa é notório um aumento significativo na quantidade de falsos negativos desta estratégia, e esse comportamento não é desejado, visto que trás riscos muito maiores caso o modelo seja aplicado industrialmente.

Para certificar e realmente conferir qual estratégia foi a mais adequada calculou-se o FNR global das duas estratégias apenas para as saídas problemáticas em questão, os resultados são apresentados na Tabela 9. Vale salientar que esse resultado engloba toda a etapa de treinamento, teste e validação da RNA que não foi apresentada nas matrizes confusões apenas para melhor visualização dos resultados.

Tabela 9: Comparação do FNR das duas estratégias.

FNR	4	5	7	9
1º estratégia	0,299	0,232	0,273	0,183
2º estratégia	0,487	0,629	0,691	0,233

Fonte: Autoria própria, 2022.

A partir da Tabela 9 é possível perceber que a taxa de falsos negativos da 2º estratégia é muito maior que na 1º apesar da melhor acurácia encontrada. Tal fato evidencia a importância de uma análise crítica, cautelosa e completa de todas as variáveis do problema, pois apenas com essa visão global dos modelos é possível determinar qual é a melhor Rede Neural Artificial para resolver o problema em questão.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados encontrados foi possível modelar uma única Rede Neural Artificial capaz de diagnosticar as falhas do *Tennessee Eastman Process* com uma boa precisão ao considerar tamanha complexidade do problema estudado.

Para problemas com um grande número de dados a serem analisados é crucial que se escolha alguns parâmetros principais para nortear os resultados obtidos e auxiliar na análise e crítica da metodologia do problema, entretanto uma visão detalhada e minuciosa de cada variável não pode ser descartada e pode ser um fator definitivo para encontrar um bom resultado, vide o que aconteceu com um dos grupos de falhas da segunda metodologia.

Há algumas alternativas que não foram abordadas neste trabalho e podem dar continuidade aos estudos de diagnóstico de falhas do TEP como aumentar o banco de dados (e considerar um problema big data) e modelar uma única RNA para cada falha separadamente, outra sugestão é testar as Redes Neurais Artificiais Neuro-fuzzy.

REFERÊNCIAS

ANBARZHAGAN, S.; THIRUVENGATAM, V.; KULANTHAI, K. **Adaptive Neuro Fuzzy Inference System and Artificial Neural Network modeling for the adsorption of methylene blue by novel adsorbent in a fixed - bed column method.** Disponível em: <[HTTP://WWW.IJCCE.AC.IR/ARTICLE_36407_0.HTML](http://www.ijcce.ac.ir/article_36407_0.html)>. Acesso em: 05/03/2020

BANNOUD, M. A. **Uso de redes neurais artificiais para prever o equilíbrio líquido-vapor de misturas binárias contendo azeótropos.** Universidade Federal de São Paulo, Diadema- SP, 2019.

BATHELT, A.; RICKER, N. L.; JELALI, M. J. I.-P. Revision of the Tennessee Eastman process model. v. 48, n. 8, p. 309-314, 2015.

BEALE, E. **Numerical methods for nonlinear optimization, chapter A derivation of conjugate gradients.** Academic Press, 1972.

BIANCHIN, L. D. Avaliação de cenários para detecção de falhas utilizando redes neurais artificiais. 2021.

CHIANG, L. H.; RUSSELL, E. L.; BRAATZ, R. D. **Fault detection and diagnosis in industrial systems.** Springer Science & Business Media, 2000.

CHOJI, T. T.; OTTAIANO, G. Y.; SEOLATTO, A. A.; SILVA, E. A.; MARTINS, T. D. **Kinetics of Ni²⁺-Cr³⁺ mixture adsorption using artificial neural networks.** I Congresso Brasileiro em Engenharia de Sistemas em processos - PSE. Rio de Janeiro, 2019.



DOWNS, J.; VOGEL, E. J. C. C. E. A plant-wide industrial process problem control. v. 17, n. 3, p. 245-255, 1993.

HEO, S.; LEE, J. H. J. I.-P. Fault detection and classification using artificial neural networks. v. 51, n. 18, p. 470-475, 2018.

LO, N. G.; FLAUS, J.-M.; ADROT, O. **Review of machine learning approaches in fault diagnosis applied to iot systems**. 2019 International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD): IEEE, 2019.

LOMOV, I.; LYUBIMOV, M.; MAKAROV, I.; ZHUKOV, L. E. J. J. O. I. I. I. Fault detection in Tennessee Eastman process with temporal deep learning models. v. 23, p. 100216, 2021.

MACHADO, M. V. Análise da utilização da técnica de médias móveis no processo de tomada de decisão de investimentos no mercado acionário. 2018.

MACKAY, D. J. C. **Bayesian Interpolation**. 1992.

MAKI, Y.; LOPARO, K. A. J. I. T. O. C. S. T. A neural-network approach to fault detection and diagnosis in industrial processes. v. 5, n. 6, p. 529-541, 1997.

MARQUARDT, D. W. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. **Journal of the society for Industrial and Applied Mathematics**, v. 11, n. 2, p. 431-441, 1963.

MORAES, D. A. **Planta experimental para monitoração e diagnóstico de falhas utilizando inteligência artificial**. Universidade de São Paulo, 2019.

MORETTO, M. D. P.; BIANCHIN, L. D.; SANTOS, B. F. D.; MARTINS, T. D. Redes Neurais Artificiais para detecção e diagnóstico de falhas no Tennessee Eastman. *Pesquisas Multidisciplinares em Ciências Exatas*. 2: 142-156 p. 2022.

NASHALJI, M. N.; SHOOREHDELI, M. A.; TESHNEHLAB, M. Fault detection of the Tennessee Eastman process using improved PCA and neural classifier. In. **Soft computing in industrial applications**, 2010. v., p. 41-50

POWELL, M. J. D. Restart procedures for the conjugate gradient method. **Mathematical programming**, v. 12, n. 1, p. 241-254, 1977.

RIEDMILLER, M.; BRAUN, H. **Rprop: A fast adaptive learning algorithm**. Proc. of the Int. Symposium on Computer and Information Science VII, 1992.

SORSA, T.; KOIVO, H. N. J. A. Application of artificial neural networks in process fault diagnosis. v. 29, n. 4, p. 843-849, 1993.

TAQVI, S. A.; TUFA, L. D.; ZABIRI, H.; MAHADZIR, S.; SHAH MAULUD, A.; UDDIN, F. **Artificial neural network for anomalies detection in distillation column**: Springer, 2017.

TINÓS, R. **DETECÇÃO E DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM ROBÔS MANIPULADORES VIA REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, ESCOLA DE ENG. DE SÃO CARLOS, USP, 1999.



CAPÍTULO 16

A DIFICULDADE DE OBTER O AVCB E A IMPORTÂNCIA DO DOCUMENTO PARA OS PROJETOS DE COMBATE CONTRA INCÊNDIO

Pablo Rocha de Souza
Abel de Oliveira Costa Filho

RESUMO

Devido a eventuais casos de incêndios em edificações na sociedade, os órgãos públicos responsáveis determinaram através de decreto a fim de prevenir e combater os possíveis casos de incêndio, que todas as edificações, exceto residências unifamiliares, necessitam possuir um projeto de proteção e combate ao incêndio, após o projeto ser aprovado e executado conforme as normas técnicas de execução, o imóvel obtém o AVCB (Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros) alegando que a edificação possui equipamentos necessários para combater em eventuais casos de incêndio, neste trabalho foi realizada uma pesquisa quantitativa e qualitativa levantando informações de artigos coleta de dados durante o tempo que o mesmo passou trabalhando no DAT – Diretoria de Atividades Técnicas do CBMAM e entrevista técnica para esclarecer quais os itens que o responsável deve se atentar e estudar a fim de adequar o imóvel nos parâmetros do decreto vigente, levando em consideração os danos que um incêndio pode acarretar, explorando maneiras de evitá-lo e extingui-lo é de grande importância, com isso, estudaram-se quais os procedimentos que o engenheiro civil responsável deve atentar para elaborar o projeto de proteção e combate ao incêndio de uma edificação classificada como condomínio horizontal a fim de conseguir a isenção do sistema de hidrantes e obter o AVCB.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto; Incêndio; Adequações; Prevenção.

INTRODUÇÃO

Este artigo delimitou-se em coletar informações sobre os projetos de combate a incêndio e como o processo para obter o Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros - AVCB é dificultoso por conta da maioria dos projetos não estarem de acordo com as Instruções Técnicas exigidas, tendo como referência à Diretoria de Atividades Técnicas do corpo de bombeiros da cidade de Manaus–DAT/AM especializada tanto em analisar projetos de combate a incêndio e confeccionar o AVCB. Também será abordado como executar um projeto de combate a incêndio da maneira correta conforme as normas técnicas do Corpo de Bombeiros, serão abordadas da mesma forma uma justificativa da problemática dos projetos de combate a incêndio não alcançar a aprovação, é uma solução pra auxiliar no desempenho da execução dos projetos.

Tem-se atualmente uma enorme quantidade e variedade de normas e leis que devem ser cumpridas, tanto em nível federal como estadual e mesmo municipal, sobre os mais variados tipos de edificações, que detalham todos os equipamentos necessários, condutas no momento



do incêndio, manutenção, bem como cuidados especiais já na elaboração de projetos e construção, pois se encontra neste contexto, uma demanda importante em que a engenharia civil deve se atentar às questões de segurança para a vida humana e manutenção de bens materiais, toda via como se atualizar das informações e normais técnicas que surgem com o decorrer dos anos.

Como se pode constatar, a prevenção e combate a incêndio nas edificações não só abrange a atuação dos profissionais de engenharia e arquitetura no dimensionamento dos sistemas de incêndio, mas também precisa contar com o comprometimento e constante aperfeiçoamento dos órgãos públicos de fiscalização e normatização, e principalmente, com o interesse e participação da sociedade em geral, a fim de garantir a preservação de vidas, e patrimônio, seguindo as normas técnicas dos bombeiros e pouco provável que o projeto seja reprovado ou tão pouco ocorra um sinistro com vítimas na edificação, pois as normas técnicas foram emitidas justamente pra não ocorrer um desastre que ponha vidas em perigo por conta de algum incêndio ou explosão.

Além de ser um profissional que utiliza e combina o conhecimento à ciência para solucionar problemas com os quais a sociedade se depara o engenheiro civil precisa também estar a par das leis e sempre atento ao realizar suas atividades profissionais tendo em vista soluções técnicas e socioeconômicas.

A IMPORTANCIA DE UMA EDIFICAÇÃO SEGURA

A abordagem desse tema é importante porquê um projeto de combate a incêndio bem elaborado conforme as Instruções Técnicas e aprovado, evitará grandes acidentes caso aconteça um incêndio ou qualquer outro sinistro no qual haja necessidade da retirada das pessoas. O projeto de combate a incêndio também fornecerá informações a equipe de bombeiro durante o sinistro, com os recursos adequados, locados na edificação de acordo com projeto, recursos como extintores e hidrantes. Por isso que é imprescindível que os profissionais responsáveis pela elaboração do projeto de combate a incêndio sigam as Instruções Técnicas para o tipo de projeto.

Um projeto bem elaborado não só será aprovado, como também oferecerá segurança e proteção para o cliente. O projeto de combate a incêndio é essencial que seja elaborado da forma correta conforme a Instrução Técnica exigidas, auxiliando assim a equipe de Bombeiros caso haja um sinistro, e facilitando a retirada dos ocupantes na edificação.



As medidas de segurança contra incêndio podem ser de prevenção ou de proteção. As medidas de prevenção são aquelas associadas ao elemento precaução contra o início do incêndio e se destinam, exclusivamente, a prevenir o incêndio, já as medidas de proteção são as utilizadas quando incêndio já está ocorrendo e os recursos da edificação como lâmpadas de emergência, porta corta fogo, sinalização de emergências, ajudara na saída dos ocupantes da edificação (Dr. ALLAN KARDEC CARLOS DIAS, 2005, p 25).

Brentano (2007) explica que a proteção passiva envolve todas as formas de proteção que devem ser consideradas no projeto arquitetônico para que não haja o surgimento do fogo ou, então, a redução da probabilidade de propagação e dos efeitos do incêndio já instalado por causa das atividades desenvolvidas na edificação, com o objetivo de evitar a exposição dos ocupantes e da própria edificação ao fogo. Essas medidas são tomadas na fase de projeto da edificação por meio da localização adequada dos equipamentos capazes de provocar incêndios, compartimentações horizontal e vertical, proteção das aberturas entre ambientes, materiais adequados utilizados nos elementos estruturais e nos revestimentos, escadas protegidas, etc.

Já a proteção ativa, ainda conforme Brentano (2007) envolve todas as formas de detecção, de alarme e de controle do crescimento do fogo até a chegada do Corpo de Bombeiros ou, então, a extinção de um princípio de incêndio já instalado. Estas ações são executadas por equipamentos de detecção, de alarme e de combate ao fogo, como sensores, detectores de fumaça e calor, sistemas de hidrantes, mangotinhos e sprinklers, extintores de incêndio, entre outros.

Considerando o ponto de vista dos autores citados acima e a partir da pesquisa realizado diretamente na Diretoria de Atividades Técnicas do Corpo de Bombeiros da cidade de Manaus – DAT/CBAM. O principal objetivo de qualquer medida tomada em relação à segurança contra incêndio é proteger o patrimônio e a vidas humana.

Se preocupar com a segurança da edificação é muito importante para evitar grandes incêndios e prevenir danos causados pelo mesmo, além do mais, em caso de tragédia a responsabilidade é sempre do proprietário da edificação ou do engenheiro responsável pela execução da edificação.

De acordo com Fundação de Apoio do Corpo de Bombeiros – FUNDABOM, a falta de conhecimento das medidas de segurança contra incêndio infelizmente faz com que a grande parte dos responsáveis técnicos e os proprietários das edificações tenham dificuldade em conseguir o AVCB, muitas vezes encaram a obtenção deste documento simplesmente como mais uma burocracia implementada pelo governo e acabam esquecendo que medidas de segurança contra incêndio salvam vidas, preservam o meio ambiente e o patrimônio.



Figura 1: AVCB.

ESTADO DO AMAZONAS
CORPO DE BOMBEIROS MILITAR

AUTO DE VISTORIA

O Corpo de Bombeiros Militar do Amazonas CIENTIFICA que a edificação ou área de risco citada abaixo possui os sistemas de segurança contra incêndio e pânico conforme o Decreto 24.054, de 1º de março de 2004, que regulamenta a Lei 2.812, de 17 de julho de 2003.

Nº do Processo	Nº do AVCB	Tipo de Vistoria
2801	3394	Renovação

Estabelecimento: SUPERTERMINAIS COMERCIO E INDUSTRIA LTDA
CNPJ: 04335535000255
Endereço: RUA PONTA GROSSA, Nº 256, BAIRRO COLÔNIA OLIVEIRA MACHADO, MANAUS - AM
Área Aprovada: 86463,90 m²
Ocupação / Divisão: M - ESPECIAL / M-7 - PÁTIO DE CONTÊINER / DEPOSITO / J-3 : SERVICOS PROFISSIONAIS / D-1
Proprietário ou Responsável pelo Uso: SUPERTERMINAIS COMERCIO E INDUSTRIA LTDA
Resp. Técnico pelo Projeto: CRIZOLITA ESSUCY SANTANA
ART/RRT e Nº de Conselho de Classe: AM20200226615 / 12464D
Resp. Téc. Última Manutenção: CRIZOLITA ESSUCY SANTANA
ART/RRT e Nº de Conselho de Classe: AM20200222824 / 12464D
Validade: 06/11/2022

Observações: Nas edificações e áreas de riscos já construídas, é obrigação do proprietário ou do responsável: Manter as medidas de segurança contra incêndio em condições de utilização, providenciando sua adequada manutenção, sob pena de cassação do AVCB, independentemente das responsabilidades civis e penais cabíveis, conforme estabelece o Art. 47, do Decreto Estadual supra.

Para renovação, deverá ser solicitada nova vistoria ao Corpo de Bombeiros, com antecedência de 30 dias do mês de vencimento.

Vistoriante: CB GETILYN
Data da Vistoria: 06/11/2020
Consulte a veracidade desse certificado lendo o QRCode ao lado ou acesse csgat.cbm-am.gov.br/portal/comunicar-certificado

Fonte: <https://dstcbmam.wordpress.com/> (2022).

O AVCB é um documento que afirma que o local foi vistoriado e está em conformidade com a segurança contra incêndio e pânico, previstos no PPCI (Plano de Prevenção e Combate de Incêndios) criado pelo corpo de bombeiros no ano de 1975, e deve conter no mínimo as características gerais da edificação, os procedimentos básicos de emergência contra incêndio, o plano de abandono, a previsão de exercícios simulados, e as plantas de emergência.

O AVCB surgiu em 1983, por meio de decreto-lei estadual e tomou força, principalmente, após duas grandes tragédias: edifícios Joelma, ocorrido em São Paulo em 1974, que provocou a morte de 191 pessoas e mais de 300 feridos e no edifício Grande Avenida, também ocorrido na capital paulista em 1981, que deixou 17 mortos e 53 feridos, relatado no artigo de Bruno Machado Teixeira formado em engenharia de produção, e gerente do Segmento Iluminação e Incêndio da Intelbras.

Todavia, antes de ter sido descoberto o modo de produzi-lo e de se controlá-lo, provoca verdadeiro terror no homem, algo supersticioso, pois seu surgimento só ocorria naturalmente, conseqüente da erupção de um vulcão, de fâisca elétrica sobre o mato seco ou, ainda, pela combustão espontânea na vegetação submetida, fortemente, aos raios do Sol. Por muitos séculos o fogo foi considerado uma manifestação sobrenatural cuja ocorrência era atribuída aos deuses. (GOMES, 1998, p. 03).

Segundo Otavio Henrique (2015) focado especificamente no setor de prevenção de combate a incêndio, este é um campo de estudo da engenharia de segurança que visa a proteção à vida e do patrimônio (construções civis), além de minimizar perdas causadas pelo fogo ou explosões e danos devido a sinistros. Um sistema PPCI, atua de maneira a dificultar o surgimento e propagação do fogo, facilitar a fuga de pessoas presentes no local do incêndio,



garantindo, assim, a integridade física das vítimas e facilitando as ações de salvamento pelos bombeiros, cabendo ao Corpo de Bombeiros Militar, atuar como órgão de fiscalização.

A partir de tal fiscalização feita pelo Corpo de Bombeiros e a obrigatoriedade das prefeituras em exigir o Atestado de Vistoria do Corpo de Bombeiros para entregar o alvará de funcionamento, a demanda por estes serviços aumentou consideravelmente nos últimos anos. Os estabelecimentos como indústrias, lojas de comércio e prestadoras de serviços, viram-se na necessidade de buscar por tal proteção.

PROCEDIMENTO PARA OBTER O AVCB

O processo pra obter o avcb e dimensionado em varias etapas, antes de dar entrada no projeto, o responsavel tecnico da edificação deverá ser credenciado no Corpo de Bombeiro Militar, e em seguida é executado um dimencionamento de carga de incêndio para caracterizar seu tipo de edificação.

Figura 2: Classificação das edificações e área de risco quanto à ocupação.

Grupo	Ocupação/Usu	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitação unifamiliar	Casas térreas ou assobradadas (isoladas e não isoladas) e condomínios horizontais
		A-2	Habitação multifamiliar	Edifícios de apartamento em geral
		A-3	Habitação coletiva	Pensionatos, internatos, alojamentos, mosteiros, conventos, residências geriátricas. Capacidade máxima de 16 leitos
B	Serviço de Hospedagem	B-1	Hotel e assemelhado	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, pousadas, albergues, casas de cômodos e divisão A3 com mais de 16 leitos. E assemelhados
		B-2	Hotel residencial	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais) e assemelhados

Fonte: Decreto 24.054 de 1º de março (2004).

Após definir o tipo de edificação será executado o projeto arquitetônico de incêndio e o levantamento de todos os documentos necessários para dá entrada ao projeto, previsto na IT-NT-03/2019 – PROCEDIMENTOS ADMINISTRATIVOS.

Na planta baixar de incêndio dependendo do seu tipo de edificação deverar conter todo o sistema de hidrantes, extintores, iluminação de emergencia, sinalização de emergencia e rota de fuga, detectores de fumaça e gás, e a central de alarme.

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA

Esse sistema consiste em um conjunto de componentes e equipamentos que, em funcionamento, propicia a iluminação suficiente e adequada para permitir a saída fácil e segura do público para o exterior, no caso de interrupção de alimentação normal e garantir a execução



das manobras de interesse da segurança e intervenção de socorro. A iluminação de emergência para fins de segurança contra incêndio pode ser de balizamento ou de aclaramento.

A iluminação de balizamento associada à sinalização de indicação de rotas de fuga, com a função de orientar a direção e o sentido que as pessoas devem seguir em caso de emergência. A iluminação de aclaramento se destina a iluminar as rotas de fuga de tal forma que os ocupantes não tenham dificuldade de transitar por elas. A iluminação de emergência se destina a substituir a iluminação artificial normal que pode falhar em caso de incêndio, por isso deve ser alimentada por baterias ou por motogeradores de acionamento automático e imediato, a partir da falha do sistema de alimentação normal de energia.

EXTINTORES PORTÁTEIS E EXTINTORES SOBRRERRODAS

O extintor portátil é um aparelho manual, constituído de recipiente e acessório, contendo o agente extintor, destinado a combater princípios de incêndio. O extintor sobrerrodas (carreta) também é constituído em um único recipiente com agente extintor para extinção do fogo, porém com capacidade de agente extintor em maior quantidade.

As previsões desses equipamentos nas edificações decorrem da necessidade de se efetuar o combate ao incêndio imediato, enquanto são pequenos focos. Esses equipamentos primam pela facilidade de manuseio, de forma a serem utilizados por homens e mulheres, contando unicamente com um treinamento básico.

Além disso, os preparativos necessários para o seu manuseio não consomem um tempo significativo e, conseqüentemente, não inviabilizam sua eficácia em função do crescimento do incêndio. Os extintores portáteis e sobrerrodas podem ser divididos em 5 tipos, de acordo com o agente extintor que utilizam:

- Água;
- Espuma mecânica;
- Pó químico seco;
- Dióxido de carbono; e
- Compostos halogenados.

Esses agentes extintores se destinam a extinção de incêndios de diferentes naturezas. A quantidade e o tipo de extintores portáteis e sobrerrodas devem ser dimensionados para cada ocupação em função:



- 1) Da área a ser protegida;
- 2) Das distâncias a serem percorridas para alcançar o extintor; e
- 3) Os riscos a proteger (decorrente de variável “natureza da atividade desenvolvida ou equipamento a proteger”).

Os riscos especiais, como casa de medidores, cabinas de força, depósitos de gases inflamáveis e caldeiras, devem ser protegidos por extintores, independentemente de outros que cubram a área onde se encontram os demais riscos. Os extintores portáteis devem ser instalados, de tal forma que sua parte superior não ultrapasse a 1,60 m de altura em relação ao piso acabado, e a parte inferior fique acima de 0,20 m (podem ficar apoiados em suportes apropriados sobre o piso).

Devem ser previstas, no mínimo, independente da área, risco a proteger e distância a percorrer, duas unidades extintoras, sendo destinadas para proteção de incêndio em sólidos e equipamentos elétricos energizados. Os parâmetros acima descritos são definidos de acordo com o risco de incêndio do local. Quanto aos extintores sobrerrodas, esses podem substituir até a metade da capacidade dos extintores em um pavimento, não podendo, porém, ser previstos como proteção única para uma edificação ou pavimento. Tanto os extintores portáteis como os extintores sobrerrodas devem possuir selo ou marca de conformidade de órgão competente ou credenciado e ser submetidos a inspeções e manutenções frequentes.

SISTEMA DE HIDRANTES

O Sistema de Hidrantes é responsável pela proteção no combate a incêndio de edificações, destinado a distribuir pontos de água com pressão e vazão pré-determinada, para combater princípios de combate a incêndio. É um tipo de sistema hidráulico, acionado de forma manual, por isso, pode ser manuseado pelos ocupantes do prédio, desde que eles tenham conhecimento básico de como utilizar o equipamento, para garantir a extinção dos primeiros sinais de incêndio.

Sistema de Hidrantes é composto por:

- Reservatório de água;
- Bombas de incêndio;
- Tubulações e peças hidráulicas;
- Registro de manobra;



- Abrigo de mangueiras; e
- Registro de recalque

É acionado manualmente, e é utilizado por meio do jato de água liberado sobre o foco do incêndio. A capacidade do jato é compatível ao risco do local, e visa acabar com o fogo no estágio inicial, o objetivo desse sistema é controlar o fogo até a chegada da equipe do Corpo de Bombeiros. A caixa de hidrante deve ser pintada na cor vermelha para facilitar a localização do equipamento dentro do edifício. Esse tipo de sistema é bastante comum e é encontrado na grande maioria das edificações. O tipo de Sistema de Hidrantes aplicado é selecionado conforme a ocupação e o uso do edifício existem os sistemas de hidrantes e de mangotinhos, com base no tipo de esguicho utilizado. Variam conforme a norma técnica ou regulamento do local de desenvolvimento e instalação do sistema de combate a incêndio.

SINALIZAÇÃO

A sinalização de emergência utilizada para informar e guiar os ocupantes do edifício, relativamente a questões associadas aos incêndios, assume dois objetivos:

- Reduzir a probabilidade de ocorrência de incêndio;
- Indicar as ações apropriadas em caso de incêndio.
- O primeiro objetivo tem caráter preventivo e assume as funções de:
- Alertar para os riscos potenciais;
- Requerer ações que contribuam para a segurança contra incêndio;
- Proibir ações capazes de afetar a segurança contra incêndio.

O segundo objetivo tem caráter de proteção e assume as funções de:

- Indicar a localização dos equipamentos de combate;
- Orientar as ações de combate;
- Indicar as rotas de fuga e os caminhos a serem seguidos.

A sinalização de emergência deve ser dividida de acordo com suas funções em 5 categorias:

- ❖ Sinalização de alerta, cuja função é alertar para áreas e materiais com potencial de risco;
- ❖ Sinalização de comando, cuja função é requerer ações que deem condições adequadas para a utilização das rotas de fuga;
- ❖ Sinalização de proibição, cuja função é proibir ações capazes de conduzir ao início do incêndio;



- ❖ Sinalização de condições de orientação e salvamento, cuja função é indicar as rotas de saída e ações necessárias para o seu acesso;
- ❖ Sinalização dos equipamentos de combate, cuja função é indicar a localização e os tipos dos equipamentos de combate.

Figura 3: IT-20/2011 – Sinalização de emergência.



Fonte: IT-20/(2011)

Esses são alguns dos recursos básicos que os projetos de incêndio devem conter, projetos de grande estrutura devem dimensionar além dos recursos de incêndio básico, o sistema de pressurização de escada de segurança, brigada de incêndio, sistema de detecção e alarme de incêndio, sistema de chuveiros automáticos todos previsto nas IT do Corpo de Bombeiros.

ANÁLISE DO PROJETO

Caso a documentação do projeto esteja normatizada em dia e completa, será encaminhado ao setor de análise, onde será inspecionado pelo bombeiro analista. O analista irá avaliar o projeto arquitetônico paralelo as normas técnicas do Corpo de Bombeiros, cada projeto é avaliado conforme a seu tipo de edificação com sua carga de incêndio.

A análise do projeto técnico tem por objetivo:

- Verificar se todos os elementos constituintes do Projeto Técnico foram apresentados conforme subseção 5.3.1 da NT 01- Procedimentos Administrativos, Parte 2- Apresentação de projeto técnico;
- Verificar se todas as medidas de segurança contra incêndio e pânico exigidas para a edificação ou área de risco foram contempladas no projeto;
- Verificar se os parâmetros básicos de segurança contra incêndio e pânico, estipulado na NT 01- Procedimentos Administrativos, Parte 2- Apresentação de projeto técnico e nas normas específicas, estão sendo obedecidos.



Os Memoriais de Cálculo receberão visto do CBMES e seus resultados serão elencados nos Memoriais Descritivos das Medidas de Segurança que serão analisados pelo CBMES.

É responsabilidade do autor do projeto, os cálculos para o dimensionamento dos sistemas e as medidas necessárias para o atendimento aos parâmetros especificados nos Memoriais Descritivos das Medidas de Segurança, além do fiel cumprimento ao estipulado pelas Normas Técnicas do CBMES.

O projeto executivo das medidas de segurança contra incêndio e pânico poderá ser exigido, a critério do CBMES, por ocasião da análise ou vistoria, quando houver dúvida sobre o correto dimensionamento das medidas de segurança contra incêndio e pânico e atendimento às Normas Técnicas do CBMES. Os Detalhes de Projeto são modelos padrões ilustrativos a fim de subsidiar a análise do projeto e instalação das referidas medidas.

VISTORIA

Aprovado na análise e marcado uma visita feita por um profissional do Corpo de Bombeiros a uma edificação que está pleiteando um AVCB. O profissional também verifica se existe correspondência entre as informações do Projeto Técnico que foi previamente aprovado e o que está na edificação.

O profissional do Corpo de Bombeiros observará as condições estruturais da edificação, ou seja, se há, por exemplo, infiltrações ou rachaduras muito evidentes as quais possam de alguma forma, representar risco a quem for ali transitar. Ele também checará se há extintores de incêndio nos locais apropriados, bem como saídas de incêndio e portas corta fogo, se preciso. Na sequência, ele comparará a estrutura atual com a descrição contida no Projeto Técnico para ver se coincidem.

Além disso, é preciso verificar se tudo está em conformidade com as normas técnicas e com a legislação local. Em caso positivo, a edificação é aprovada e o documento é liberado dias depois. Se a edificação for reprovada, abre-se um novo prazo para que os ajustes necessários sejam realizados e uma nova vistoria é marcada.

Por mais que o AVCB seja emitido, é responsabilidade do proprietário ficar atento às condições dos equipamentos de combate a incêndio. Para isso, existem algumas empresas habilitadas a prestar serviços mensais para assegurar que os equipamentos não apresentem defeitos, principalmente no momento da vistoria. Apesar disso, tenha em mente que essa preocupação com o bom funcionamento deles deve ser diária com o objetivo de tê-los



funcionando em caso de emergência. Segue alguns equipamentos de combate a incêndio que são considerados fundamentais para a emissão do AVCB:

Extintores: eles são itens fundamentais no combate a possíveis incêndios, ajudando no controle do fogo. Para cada ocasião de emergência existem extintores específicos que são classificados como classe A (específico para combater o fogo em materiais como madeira e papel), classe B (destinado a combater o fogo ocasionado por gases inflamáveis) e classe C (especializado em combater o fogo gerado a partir de equipamento elétrico).

Sprinkler: o Sprinkler é um tipo de chuveiro que funciona automaticamente quando detectada uma temperatura elevada no ambiente. Nesses casos, o seu vidro rompe e libera água para combater o incêndio, contudo é importante não o instalar em locais com sistemas elétricos.

Hidrantes: o hidrante é uma tubulação que permite a saída de um maior volume de água, com maior pressão. Vem com uma mangueira resistente e que alcança melhor as áreas atingidas por um incêndio.

Central de alarme de incêndio: é um tipo de sensor que detecta quando há fumaça em um ambiente. Quando isso ocorre, é emitido um sinal para o painel de controle, fazendo com que seja disparada uma sirene, alertando para que todos deixem o local.

Figura 4: Vistoria.



Fonte: Autoria Própria (2019).

CONSEQUÊNCIAS DE UMA EDIFICAÇÃO SEM O AVCB

Uma edificação que não possua o AVCB está aberto a uma multa cassação da credencial do Corpo de Bombeiros, além disso, as seguradoras podem se recusar a pagar a indenização se o Auto de Vistoria estiver vencido. A depender da situação, o responsável pelo prédio pode responder civil ou criminalmente na justiça pela falta do documento. O Corpo de



Bombeiros, responsável pela fiscalização das condições de segurança contra incêndio, tem autonomia para aplicar sanções como advertências, multas e até a interdição do local.

Além da multa a edificação corre um risco anorme de acontecer um sinistro por conta de não ter um sistema de incêndio corretamente. Para tratarmos mais sobre prevenção de incêndios é necessário entendermos primeiro o que é o fogo, Dreher (2004) conceitua o fogo como a consequência de uma reação química denominada combustão que libera luz e calor. Para que haja combustão deverão estar presentes quatro elementos: combustível, calor, oxigênio e reação em cadeia.

Segundo Araújo (2007) os elementos fundamentais para a combustão que constitui o chamado “Tetraedro do Fogo” são: combustível que é toda substância capaz de queimar e alimentar a combustão é o elemento que propaga o fogo; calor é a forma de energia que aumenta a temperatura, gerada da transformação de outras energias, através de processo físico ou químico; oxigênio é o elemento que reage com o combustível, participando da reação química da combustão, possibilitando assim vida às chamas e intensidade a combustão; reação em cadeia é a sequência de reações provocadas por um único elemento ou grupo por um grupo de elementos que gera novas reações entre elementos que podem ou não serem distintos.

A Norma de Procedimento Técnico - NPT - 003 (2011) define incêndio como o fogo sem controle, intenso, o qual causa danos e prejuízos à vida, ao meio ambiente e ao patrimônio. Existem quatro classes de incêndio o incêndio classe A (envolvendo combustíveis sólidos comuns), incêndio de classe B (envolvendo produtos inflamáveis e gases), incêndio natural (a variação da temperatura que é a simulação do incêndio real) e o incêndio padrão (eleva e padroniza em função do tempo).

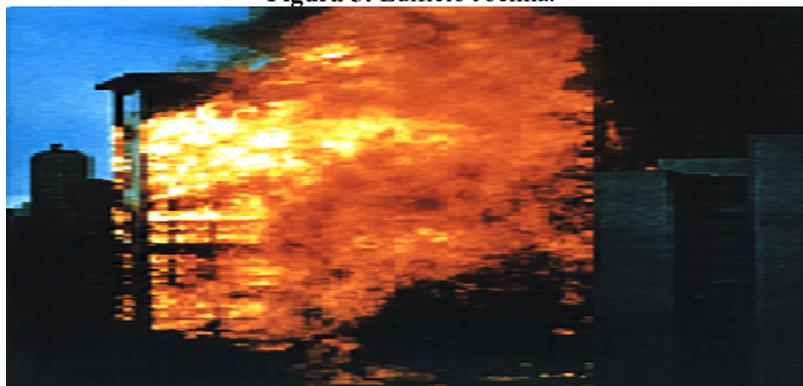
ALGUNS INCENDIOS CAUSADOS POR FALTA DE SEGURANÇA CONTRA INCENDIO

Edifício Joelma

O incêndio no Edifício Joelma foi uma tragédia ocorrida em 1º de fevereiro de 1974 no Edifício Praça da Bandeira, na região central de São Paulo, Brasil, que provocou a morte de 187 pessoas e deixou mais de 300 feridos.



Figura 5: Edifício Joelma.

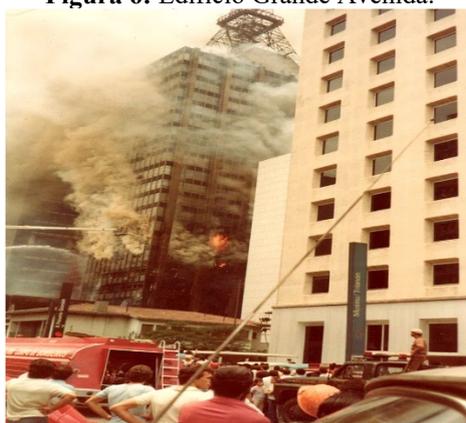


Fonte: IT-02-19 (2019).

Edifício Grande Avenida

Ocorrido em São Paulo – 14 de fevereiro de 1981. Pela segunda vez. O incêndio atingiu 19 pavimentos. Houve 17 vítimas fatais e 53 feridas. A origem foi no subsolo. Na Figura 7 4, se observa a dificuldade de combate ao incêndio ou salvamento, quando a edificação está recuada da via.

Figura 6: Edifício Grande Avenida.



Fonte: IT-02-19 (2019).

METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado é o descritivo com a finalidade de analisar e descobrir como muitos projetos de combate a incêndio não alcançam a aprovação na Diretoria de Atividades Técnicas do Corpo de Bombeiros da cidade de Manaus–DAT/CBAM, e obter uma solução a cerca da problematização apresentada nesse trabalho. Onde foram usadas as técnicas de coleta de informações tais como, entrevista, e pesquisa bibliográfica.

A parte de pesquisa foi desenvolvida a partir de Pesquisa bibliográfica. Os conceitos analisados foram: A importância do Projeto de Prevenção e Combate a Incêndios para a qualidade de segurança das edificações.



Rosario (2007) destaca que a área de segurança contra incêndio ganhou impulso no Brasil no ano de 1970, com o episódio de grandes incêndios em São Paulo - SP, no Edifício Andraus e no Edifício Joelma. Após estes incêndios históricos foram surgindo normas e códigos, na esperança de minimizar essas ocorrências. A falta de conhecimento das medidas de segurança contra incêndio que infelizmente faz com que a grande parte dos responsáveis técnicos e os proprietários das edificações tenham dificuldade em conseguir o AVCB normas e Leis como: Lei 2.812 de 17 de Julho de 2003, Decreto 24.054 de 1º de março de 2004, Lei Estadual 3.862/2013 (Lei de Taxas).

O estudo tem caráter essencialmente qualitativo, com ênfase no estudo de campo feita nas Atividades Técnicas do Corpo de Bombeiros da cidade de Manaus–DAT/CBAM em 2019, e observação e estudo documental ao mesmo tempo em que será necessário o cruzamento dos levantamentos com toda pesquisa bibliográfica.

ENTREVISTA

A entrevista foi feita com dois sargentos da Diretoria de Atividades Técnicas do Corpo de Bombeiros da cidade de Manaus–DAT/CBAM, que atuam como analista de projeto de combate a incêndio, a primeira foi feita dia 09/05/2019 com o sargento analista Góes que abordou várias irregularidades que são cometidas pelos profissionais responsáveis pelo projeto de combate a incêndio, irregularidades na planta baixa como: portas de emergência abrindo na direção errada, extintores locados em espaços inadequados, falta de sinalização de emergência, a distância entre os extintores e hidrantes que não atendem o tipo de classe que o projeto representa.

O sargento abordou também que a grande maioria dos projetos reprovados são projetos que estão em sua primeira entrada, um dos pontos mais comuns e a falta de experiência dos responsáveis técnicos em lidar com o projeto de combate a incêndio pela primeira vez, pois o analista e vistoriante que vão avaliar o projeto tanto o físico quanto em campo, são muito criteriosos, então o projeto deve ser feito como o máximo de atenção e responsabilidade possível.

A segunda entrevista foi feita com o sargento Aragão dia 23/05/2019 que explicou como grande maioria dos projetos de combate a incêndio não alcançam a aprovação, por que os profissionais responsáveis pelo projeto não se interessam em fazer o projeto de acordo com as normas exigidas, e acabam prejudicando o projeto e tendo que gastar mais por isso dando entrada de novo.



Figura 7: Considerações de vistoria.

GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS
CORPO DE BOMBEIROS MILITAR
DIRETORIA DE ATIVIDADES TÉCNICAS
CONSIDERAÇÕES DE VISTORIA TÉCNICA

PROPRIETÁRIO: D.D. INCORPORAÇÕES IMOBILIÁRIA
ÁREA: 14.274,68 m²
PROCESSO: 203-SISGAT

OBSERVAÇÕES DIVERSAS
1ª VISTORIA - REPROVADA

- 1- APRESENTAR A ART. DE S.V.D.A. + ALARME + DETECÇÃO + SPRINKLER + ESCADA PRESSURIZADA. O B. PROFISSIONAL DEVERÁ SER CREDENCIADO NO C.B.M.A.M.
- 2- INSTALAR A V.G.A. DO SPR. NA CENTRAL DE ALARME POIS A MESMA DEVERÁ ACIONAR O ALARME SOMO.
- 3- SUBSTITUIR AS MANGUEIRAS TIPO 1 PARA TIPO 2 CONFORME IT 22/2011.
- 4- INSTALAR ESQUINCOS CONFORME NBR 14870-1/2013.
- 5- REALIZAR O ISOLAMENTO DOS SHRETS ELÉTRICOS, HIDRÁULICOS ENTRE OS PAVIMENTOS CONFORME IT 08/2014.
- 6- REALIZAR MANUTENÇÃO NAS BOMBAS DE INCENDIO (HIDRANTES) POIS SÃO A MESMA FUNÇÃO CONFORME A IT 22/2011 REFERENTE A AUTOMATIZAÇÃO.
- 7- INSTALAR ACIONADOR MANUAL DAS BOMBAS DE INCENDIO EM LOCAL DE FÁCIL ACESSO.
- 8- A LIGAÇÃO ELÉTRICA DAS BOMBAS DEVERÁ SER DIFERENTE DA CHAVE GERAL DA EDIFÍCIO, EXEMPLO: EM CASO DE DESLIGAR A CHAVE GERAL DA EDIFÍCIO AS BOMBAS DEVERÃO PERMANECER LIGADAS.
- 9- MELHORAR A SINALIZAÇÃO DA ROTA DE FUGA NOS PAVIMENTOS DO HOTEL.
- 10- INSTALAR JUNTA DE COEXÃO DE 90ºS DE 1/2" FOLEGADAS NOS REGISTROS DE RECALQUE (DOS 02 SISTEMAS DE HIDRANTES E O SPR).

Considerando as exigências estabelecidas na Lei nº. 2.812 de 17 de julho de 2003, regulamentada pelo Decreto nº. 24.054 de 01 de março de 2004, bem como as não-conformidades verificadas por ocasião da vistoria, O PROPRIETÁRIO OU RESPONSÁVEL LEGAL DEVERÁ TOMAR AS SEGUINTE PROVIDÊNCIAS:

() Apresentar projeto técnico atualizado de proteção contra incêndio e pânico na DAT/CBMAM para análise, vistoria e obtenção do AVCB – Auto de Vistoria do CBMAM;

(X) Corrigir as Não-Conformidades registradas e solicitar nova vistoria.

() Para os processos APROVADOS COM PENDÊNCIA, favor realizar agendamento técnico no endereço <https://dstcbmam.wordpress.com> para a entrega de pendência.

LOCAL E DATA DA VISTORIA: MANAUS 24/07/2020 HORÁRIO: 11:50

VISTORIANTE 1: VISTORIANTE 2: RESPONSÁVEL:

SALVAMOS MAIS O MEIO AMBIENTE, VIDAS E PATRIMÔNIOS. A MEDIDA QUE INVESTIMOS EM PREVENÇÃO
Comando Geral do Corpo de Bombeiros Militar do Amazonas - Diretoria de Atividades Técnicas
Av. Ipubuna, 1298 - Cachoeirinha, blog: <https://dstcbmam.wordpress.com/>
EM CASO DE EMERGENCIA LIGUE 193.

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 8: Considerações de vistoria.

GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS
CORPO DE BOMBEIROS MILITAR
DIRETORIA DE ATIVIDADES TÉCNICAS
CONSIDERAÇÕES DE VISTORIA TÉCNICA

PROPRIETÁRIO: D.D. INCORPORAÇÕES IMOBILIÁRIA
ÁREA: 14.274,68 m²
PROCESSO: 203-SISGAT

OBSERVAÇÕES DIVERSAS
1ª VISTORIA - REPROVADA

- 11- REALIZAR MANUTENÇÃO NO SISTEMA DE PRESSURIZAÇÃO DA ESCADA DE EMERGENCIA (LIGAR DABLER NA CAIXA DE ESCADA).
- 12- INSTALAR O DISPOSITIVO DE CONTROLE DE PRESSÃO NA ESCADA PRESSURIZADA NO ÚLTIMO PAVIMENTO.
- 13- INSTALAR PORTA CORTA FOGO NO ACESSO A SALA DE MOTOVENTILADOR DA ESCADA PRESSURIZADA.
- 14- REALIZAR MANUTENÇÃO NO DETECTOR REVERSO EXISTENTE NA SALA DO MOTOVENTILADOR (O ACIONADO DEVERÁ DESEJAR O VENTILADOR).
- 15- INVERTER A ABERTURA DA PORTA DE SAÍDA DE EMERGENCIA DE ACESSO A ESCADA DE EMERGENCIA (SUBSOLO).
- 16- LEGENDAS A CENTRAL DE ALARME IDENTIFICANDO O SISTEMA ACIONADO (PISOTÃO, DETECÇÃO, V.G.A).
- 17- REALIZAR MANUTENÇÃO NA V.G.A. DO SPRINKLER'S POIS O MESMO NÃO FUNCIONOU NESTA VISTORIA.

GALÉRIA

- 18- INSERIR NA PLANTA A LOJA ANCORAS DO 1º PAVIMENTO DA GALÉRIA.
- 19- APRESENTAR ART. DE ESTABILIDADE DO G.I.P.
- 20- APRESENTAR ART. DO GERADOR.

Considerando as exigências estabelecidas na Lei nº. 2.812 de 17 de julho de 2003, regulamentada pelo Decreto nº. 24.054 de 01 de março de 2004, bem como as não-conformidades verificadas por ocasião da vistoria, O PROPRIETÁRIO OU RESPONSÁVEL LEGAL DEVERÁ TOMAR AS SEGUINTE PROVIDÊNCIAS:

() Apresentar projeto técnico atualizado de proteção contra incêndio e pânico na DAT/CBMAM para análise, vistoria e obtenção do AVCB – Auto de Vistoria do CBMAM;

(X) Corrigir as Não-Conformidades registradas e solicitar nova vistoria.

() Para os processos APROVADOS COM PENDÊNCIA, favor realizar agendamento técnico no endereço <https://dstcbmam.wordpress.com> para a entrega de pendência.

LOCAL E DATA DA VISTORIA: MANAUS 24/07/2020 HORÁRIO: 11:50

VISTORIANTE 1: VISTORIANTE 2: RESPONSÁVEL:

SALVAMOS MAIS O MEIO AMBIENTE, VIDAS E PATRIMÔNIOS. A MEDIDA QUE INVESTIMOS EM PREVENÇÃO
Comando Geral do Corpo de Bombeiros Militar do Amazonas - Diretoria de Atividades Técnicas
Av. Ipubuna, 1298 - Cachoeirinha, blog: <https://dstcbmam.wordpress.com/>
EM CASO DE EMERGENCIA LIGUE 193.

Fonte: Autoria própria (2019).

Como podemos ver nessas considerações de vistoria, este projeto de centro comercial hotel foi reprovado, por conter muitas não conformidades.



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta pesquisa veio contribuir para o melhor desempenho aos responsáveis ao apresentar o projeto de combate a incêndio para Atividades Técnicas do Corpo de Bombeiros da cidade de Manaus–DAT/CBAM, bem como responder a forma ideal de elaborar o projeto de combate a incêndio atendendo as Instruções Técnicas, tendo assim como benefício à aprovação e consequentemente o Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros - AVCB.

Para empresas de engenharia que prestam serviços de construção civil a ideia seria implementar um programa interno, ensinando como executar um projeto de incêndio desde do tramitar até o projeto arquitetônico.

O programa seria ministrado por engenheiro de segurança do trabalho ou algum bombeiro militar convocado da DAT – Diretoria de Atividades Técnicas do CBMAM. A aplicação das aulas seria dividida em aulas teóricas e práticas mostrando a execução dos projetos conforme as normas do corpo de bombeiro.

Outra solução viável é um apoio e suporte de uma consultoria confiável, que domine o assunto e que o aplique conforme as normas do corpo de bombeiros. A consultoria de combate a incêndio é um serviço oferecido por empresas especializadas em engenharia contra incêndio. Os projetos de prevenção e combate a incêndio são fundamentais para edificações de todos os tipos e devem ser elaborados segundo as normas técnicas exigidas para cada categoria.

O serviço de consultoria garante a assessoria profissional necessária para a instalação de sistemas de segurança completos e eficientes, além de emitir laudos e diagnósticos específicos segundo as regras determinadas pelo corpo de bombeiros. É de extrema importância contratar o serviço de consultoria combate a incêndio de empresas especializadas. Qualquer empreendimento onde circulam pessoas necessita de um sistema eficiente de prevenção e combate a incêndio, para a proteção da vida humana e do patrimônio em caso de acidentes.

Com isso os resultados desta pesquisa proporcionam um auxílio considerável ao responsável pelo projeto de combate a incêndio, para que não aconteça descumprimento das instruções técnicas, assim dando segurança aos ocupantes da edificação. Com auxílio da consultoria as chances de obter o AVCB são maiores e com maior certeza de segurança de incêndio, pois todos sabem do prejuízo que o fogo pode causar, a destruição pode ser completa e trazer traumas que ficarão para sempre na memória de quem vivenciou ou foi vítima de um.

Pensando em algo tão assustador que é o fogo em grande proporção, é de extrema importância que as pessoas invistam em segurança, ou seja, coloquem no orçamento das empresas ou de seus negócios o capital que será aplicado nessa área.



CONCLUSÃO

Conclui-se que a prevenção e combate a incêndio nas edificações não só abrange a atuação dos profissionais de Engenharia e Arquitetura no dimensionamento dos sistemas, e o vital conhecimento básico das características do fogo e o comportamento do incêndio e o dimensionamento e execução dos projetos de combate a incêndio bem como o manuseio básico dos equipamentos de segurança.

No que diz respeito à normatização, o Brasil apresentou vários avanços nas últimas décadas. Infelizmente, a maioria desses avanços foi resultado de grandes catástrofes.

O projeto, na maioria das vezes, é realizado inicialmente para conseguir a liberação do Corpo de Bombeiros Militar para execução da edificação, ou seja, nem sempre a visão está acerca do que está direcionado à prevenção contra o fogo que facilmente se alastra, com o objetivo de impedir ou acabar de uma vez com a possibilidade do que possa ser imensamente trágico à vida.

Grande parte dos incêndios podem ser contornados caso tenha a adequada instalação de sistemas fixos e móveis contra incêndio bem como com a preparação de pessoal. Cada ser humano responde de uma maneira diferente as situações adversas, porém, em casos de sinistros de incêndio, é comum todos serem tomados pelo pânico e nervosismo, e, assim, não sabem como proceder, e, em muitos casos, acabam ficando paralisado, o que se torna bastante urgente de ser pensado, pois, numa situação de risco, o tempo é um fator muito importante. A taxa de resposta entre o ocorrido e o tempo disponível de ação tem que ser a mais eficaz possível, pois, em caso tardio do aviso de incêndio, quando as situações de fogo e fumaça estão mais severas, é difícil manter a calma e seguir um caminho tranquilo.

O Brasil não possui uma lei concisa para todo o país, pois, cada estado, em conjunto com o corpo de Bombeiro Militar, tem autonomia, perante as normas previstas para elaborar e fiscalizar os seus projetos, o que acaba deixando margens para falhas e critérios diferentes.

Esse trabalho colabora na melhora e ampliação do conhecimento dos profissionais da área a estar em constante estado de estudo e aprendizado, para execução dos projetos de combate a incêndio, com a consultoria, treinamento interno de execução dos projetos, e até mesmo uma materia especificar desse assunto inserido na grade do curso de engenharia civil.



REFERÊNCIAS

ALLAN, K. **Normas legais de prevenção e combate a incêndio em belo Horizonte**. Dissertação (Graduada em Ciências Físicas e Biológicas) - Universidade Vale do Rio Verde, São Paulo, 2005.

ARAÚJO, R. L. **Comportamento do Fogo**. Cascavel, 2007.

BAZZO, W. A. **Introdução à Engenharia** – conceitos, ferramentas e comportamentos. 4. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2013.

BRASIL. **Decreto n 24.054, de 01 de março de 2004**. *Aprova o Regulamento do Sistema de Segurança contra Incêndio e Pânico em Edificações e Áreas de Risco, instituído pela Lei n° 2.812, de 17 de julho de 2003*.

BRENTANO, T. **A Proteção contra incêndios no Projeto de Edificações**. Porto Alegre: 1. ed. 2007. p. 620.

DAT, D. Manaus. Cbman, 2019 Disponível em: <[HTTPS://DSTCBMAM.WORDPRESS.COM/](https://dstcbmam.wordpress.com/)>. Acesso em: 01 de abr. de 2022.

GOMES, A. G. **Sistemas de prevenção contra incêndios**. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 1998.

ONO, R. **Parâmetros de garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos**. Ambiente Construído. Porto Alegre, v.7, n.1. p. 97-113. jan./mar. 2007.

OTAVIO, H. **Proposta de melhoria no serviço de engenharia de projeto de prevenção e combate a incêndio e pânico por meio da simulação a eventos**. Artigo (Graduado em Engenharia civil. Fortaleza) Universidade de minas gerais (2015)

VÂNIA, C. **Estudo da segurança contra incêndio e pânico nas edificações**. Dissertação (Mestre engenharia urbana) Universidade Estadual de Maringá (2013)



CAPÍTULO 17

PROBLEM-BASED LEARNING (PBL) E KAHOOT! COMO FERRAMENTAS EDUCACIONAIS NO “LABORATÓRIO DE FÍSICO QUÍMICA”

Bruno Cano Mascarenhas
Natália Mariana dos Santos

RESUMO

A busca de novas metodologias de ensino que tangenciem o avanço tecnológico da nova geração, torna-se primordial para a subjetividade do indivíduo em formação pessoal e profissional. Com isso, os métodos de ensino construtivistas tornam-se relevantes como propostas pedagógicas para o aprimoramento dos processos de ensino e aprendizagem. Neste contexto, investigou-se a validade do método de Aprendizagem Baseada em Problemas - PBL e do software educativo Kahoot! aplicados as aulas de físico-química, cuja metodologia era de cunho tradicional. A abordagem da temática do trabalho foi proposta de modo a integrar os conhecimentos teóricos exigidos na realização das atividades com o conhecimento prévio construído pelo aluno durante o decorrer do seu curso de graduação, tal como instigar o discente a correlacionar os conceitos aprendidos nas aulas teóricas com os resultados obtidos durante as práticas. Como resultado, observou-se a aprovação dos discentes em relação aos recursos didáticos abordados, sendo possível concluir que a utilização de metodologias construtivistas colabora para o desenvolvimento acadêmico dos discentes.

PALAVRAS-CHAVE: PBL, Kahoot!, Química, Ensino e Aprendizagem, Educação.

INTRODUÇÃO

Os impactos pós-modernidade na sociedade influem na busca de novos estudos científicos e tecnológicos, os quais serão divulgados e absorvidos em diferentes esferas da coletividade, como a industrial, a social e a de ensino. Assim, o ambiente universitário pode ser interpretado como o local em que os estudantes ingressam em busca de conhecimento para a iniciação a uma carreira profissional. Dentre as opções dos cursos ofertados pelas universidades, inserem-se os cursos de Química que propõe-se a desenvolver profissionais hábeis para atuarem no mercado de trabalho, permitindo-os adquirir conhecimentos e habilidades pertinentes a este campo da ciência (ZUCCO et al., 1999).

O professor, dentro da perspectiva da universidade, atua como principal representante da universidade na vida acadêmica dos alunos, desenvolvendo os conteúdos fundamentais para desempenharem sua futura profissão. Assim sendo, cabe ao professor a aplicação de metodologias de ensino que objetivam a preparação do aluno para o mercado de trabalho (KRÜGUER e ENSSLIN, 2012). É importante destacar que, ao longo do processo de ensino-aprendizagem, o professor deve ponderar que o “saber” do aluno está em processo de



construção e, por essa razão, além de motivá-los empregando métodos adequados para transmitir seu conhecimento, também deve prepará-los para sua busca constante pelo aprendizado (KRÜGUER; ENSSLIN, 2012; MIRANDA et al., 2012).

As distintas abordagens utilizadas pelos professores, no decorrer do processo de ensino-aprendizagem, estão conectadas a algum método de ensino. Uma das metodologias de ensino mais empregadas na graduação é o método tradicional, no qual o professor é o sujeito ativo, sendo ele o centro do aprendizado durante todo o processo de ensino-aprendizagem. Neste método, normalmente, a transmissão do saber é feita por meio de aula expositiva (SANTOS, 2010). Porém, muitas vezes o docente acaba ministrando aulas com conteúdos programáticos, onde o aprendizado ocorre por meio da repetição, baseado em ensinamentos empiristas e/ou apriorista, podendo ser prejudicial ao processo de adquirir novos conhecimentos, por gerar uma reprodução da informação (RAPOPORT; SILVA, 2006). Segundo Demo (2000):

A aula que apenas repassa conhecimento, ou a escola que somente se define como socializadora de conhecimento, não sai do ponto de partida, e, na prática, atrapalha o aluno, porque o deixa como objeto de ensino e instrução. Vira treinamento. É equívoco fantástico imaginar que o “contato pedagógico” se estabeleça em um ambiente de repasse e cópia, ou na relação aviltada de um sujeito copiado (professor, no fundo também objeto, se apenas ensina a copiar) diante de um objeto apenas receptivo (aluno), condenado a escutar aulas, tomar notas, decorar e fazer prova. A aula copiada não constrói nada de distintivo, e por isso não educa mais do que a fofoca, a conversa fiada dos vizinhos, o bate papo numa festa animada (DEMO, 2000, p.15).

Em oposição aos paradigmas do método tradicional surge o método construtivista. Nessa proposta, diferentemente do método tradicional, o aluno é visto como o centro ativo no processo de ensino-aprendizagem e o professor atua como um agente facilitador no processo e orienta o aluno a buscar e gerar seus próprios conhecimentos (CHAHUÁN-JIMÉNEZ, 2009).

Por intermédio das ferramentas oriundas do método construtivista, o aluno é estimulado a buscar, propor e refletir soluções para os seus problemas e, a partir de suas conclusões, realizar escolhas e tomar as decisões pertinentes ao objeto de estudo. Como consequência, as metodologias ativas tornam os alunos mais independentes e fortemente críticos (BACKES et al., 2010), de modo que debates, opiniões, argumentações e discussões sejam validados como contraposição ao método de ensino tradicional. Um exemplo de metodologia construtivista é a Aprendizagem Baseada em Problemas (do inglês, *Problem- Based Learning* – PBL) (AZEVEDO et al., 2019) e os jogos/aplicativos lúdicos, como o Kahoot! (COVOS et al., 2018).



MÉTODO DE APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

No método de Aprendizagem baseada em Problemas – PBL, os alunos têm a experiência de aprendizado a partir da resolução de situações problema (AZEVEDO et al., 2019). Entretanto, cabe ressaltar que para chegar a uma conclusão satisfatória da problemática proposta, o aluno deve estabelecer o aprendizado partindo de seus conhecimentos prévios. O PBL surge como uma proposta de melhoria ao atual modelo de ensino tradicional, na qual o aluno permanece em posição passiva durante todo o processo de ensino-aprendizagem (DUCH et al., 2001; MIRANDA, 2016). Assim, com o avanço dos estudos no campo da educação, existe uma tendência ao desenvolvimento de novos modelos de ensino em que os alunos devem ter papéis mais ativos no processo de aprendizagem, e conseqüentemente, o professor passa a adotar o papel de “ensinar o estudante a aprender fenômenos e soluções” ao invés do papel de “ensinar coisas e soluções” (DUCH et al., 2001).

Segundo Queiroz (2012), a abordagem do PBL utiliza-se dos chamados textos-problema, cuja temática é ligada ao dia a dia dos discentes. Esses textos são empregados de forma a induzir o desejo de conhecimento do aluno. Neste contexto, o discente é impulsionado a buscar soluções aos problemas apresentados pelos professores-tutores. A meditação sobre a problemática, bem como acerca das suas possibilidades de respostas, permite que o aluno ganhe uma motivação extra para a execução das tarefas e estabeleça uma relação mais clara sobre a relevância do conteúdo da aula. Há ainda a possibilidade de propor situações que apresentem conceitos interligados nos mais distintos campos da química (interdisciplinaridade). Para resolver esses problemas, os estudantes devem buscar dados e propor hipóteses adequadas à perspectiva das adversidades.

Conforme discute Carbogim e colaboradores (2017), o laboratório de Físico- Química se mostra um ambiente promissor para a aplicação do PBL, objetivando o desenvolvimento de novas habilidades, tais como: a comunicação oral e escrita, o trabalho em grupo, o senso crítico.

JOGOS E APLICATIVOS LÚDICOS E EDUCACIONAIS

Em função da grande disponibilidade de acesso aos meios tecnológicos nos dias atuais, os jogos educacionais acarretam um interesse maior do aluno dentro do ambiente da sala de aula, possibilitando que o ensino de determinados conteúdos sejam ministrados por ferramentas e/ou métodos lúdicos (ROMIO et al., 2017). Cabe ressaltar que os recursos lúdicos devem ser bem organizados e estruturados, pois quando essa ferramenta é planejada corretamente, acaba promovendo a aprendizagem significativa, além disso, também amplia habilidades e



competências capazes de estimular novos conhecimentos através da motivação e interação (COVOS et al., 2018; SANDE; SANDE, 2018).

Pensando em propiciar ao aluno o desejo de releitura e revisão dos procedimentos e resultados experimentais das práticas, pode-se fazer uso de um software educacional, o *Kahoot!*, visando o desenvolvimento de um debate das práticas com maior dinâmica e, conseqüentemente, aprimorando os conhecimentos adquiridos no decorrer do semestre.

O software *Kahoot!* consiste em uma plataforma interativa capaz de criar atividades dinâmicas entre o tutor/professor e os alunos (SANDE; SANDE, 2018). O processo de usabilidade da plataforma é feito por meio da geração de perguntas e respostas dinâmicas através do uso da tecnologia como, celulares, tablets ou computadores. O questionário aplicado é controlado pelo professor, e os critérios de avaliação e pontuação são disponibilizados: número de acertos e tempo gasto para responder cada uma das questões (COSTA et al., 2017). Portanto, pode-se dizer que a ferramenta *Kahoot!* vai muito além da óptica das metodologias tradicionais, criando-se um ambiente para uma nova forma de didática, baseada na era dos recursos digitais, diversificando ainda mais o padrão das avaliações e das interações professor-aluno (COELHO et al., 2017).

Levantamento de textos publicados na literatura indicam a satisfatória utilização do *Kahoot!* frente ao ensino de matemática (ROMIO et al., 2017), microbiologia (SANDE; SANDE, 2018), química (COSTA et al., 2017) e linguagens (GAZOTTI-VALLIM et al., 2017). Além disso, o professor pode fazer uso dos resultados obtidos pelo feedback gerado pelo software para o cálculo da nota do aluno.

METODOLOGIA APLICADA

A presente proposta pedagógica foi aplicada na disciplina de Laboratório de Físico-Química, ofertada ao 6º período do Curso de Bacharelado em Química de uma universidade pública do Estado de São Paulo. Tal disciplina é de caráter obrigatório, sendo ministrada em 4 horas semanais. O presente laboratório busca fornecer aos alunos uma extensão, por meio da experimentação, do conhecimento estudado nas disciplinas teóricas do campo da Físico-Química. Tipicamente, a disciplina é abordada pelo ponto de vista tradicional (aula expositiva e apostila teórica). Neste cenário, os alunos se organizam em duplas e realizam as atividades que são propostas por roteiros pré-elaborados pelo professor. Ao final, recolhem os dados e entregam semanalmente, relatórios avaliativos.



Em oposição a este método de ensino, optou-se pela implementação de uma metodologia de ensino na qual o aluno fosse mais ativo em relação às aulas. O roteiro prático, contendo 10 experimentos, foi mantido idêntico ao já estabelecido pela ementa da disciplina, assim como, optou-se por deixar que os próprios alunos se dividissem nas duplas de trabalho. As práticas de 1 a 6 foram realizadas em conjunto (todos os alunos a realizam no mesmo dia). No entanto, as práticas 7 – 10 foram realizadas em regime de rodízio, ou seja, a cada semana um grupo de alunos realizava uma determinada prática específica. No intuito de promover o aprendizado ativo, colou-se em prática duas ferramentas pertencentes ao campo do ensino significativo: o PBL e o *Kahoot!*. Além disso, os alunos redigiam relatórios com as discussões dos resultados de cada prática.

No que se refere as etapas de implementação da metodologia PBL, primeiramente, pretendeu-se executar a aplicação de um texto-problema (Atividade Avaliativa 1), seguido da distribuição do problema aos alunos e, por fim, a resolução e discussão, em grupo, das abordagens das possíveis soluções ao problema proposto. O prazo para a resolução do texto-problema foi de 15 dias. A temática da atividade avaliativa 1 envolveu os conhecimentos pertinentes aos 6 primeiros roteiros práticos, pois, como apontado em alguns relatórios, percebeu-se certa insegurança por parte dos discentes na realização dessas práticas. As diversas resoluções propostas foram objeto de debate. Nesse momento, pode-se avaliar o poder de argumentação dos alunos diante da problemática apresentada.

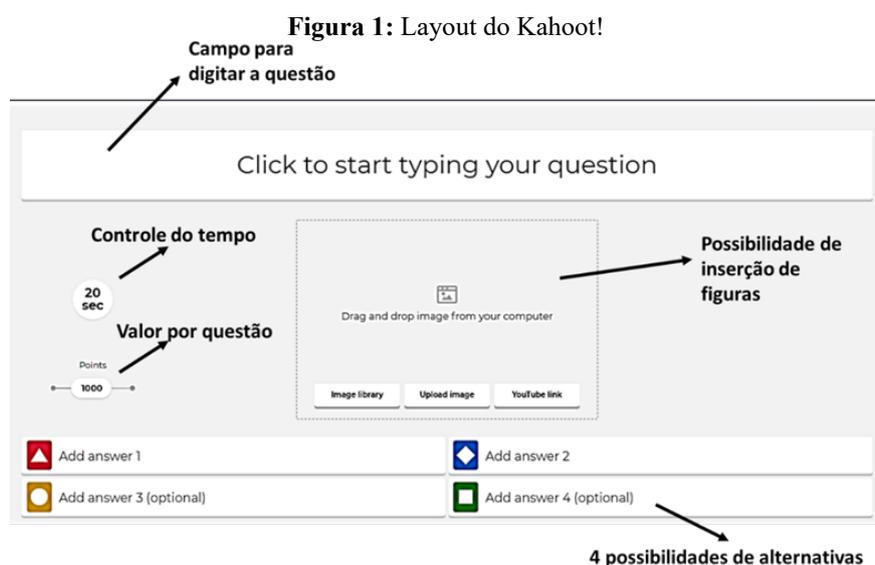
Os discentes foram avaliados frente a melhoria dos relatórios e pela resolução do problema proposto. Esta avaliação teve como objetivo primordial a discussão dos dados e das diferentes ideias e hipóteses levantadas pelos diferentes indivíduos. Como instrumento avaliativo, a resolução e a argumentação do texto-problema foi classificada. Para tal, aplicou-se um sistema hierárquico para os argumentos dos alunos: forte, moderado, regular e fraco. Cabe ainda dizer que a resolução das situações problemas não exigiu informações que não foram trabalhadas dentro da ementa do laboratório de físico-química, pois tem-se em mente que se faz necessário elaborar problemas que abordem somente o conteúdo que o aluno aprendeu e/ou refletiu durante as práticas já estabelecidas para o curso.

A partir da prática 7, uma nova abordagem de aula foi realizada. Assim sendo, foi dado um total de 30 min para que cada dupla pudesse discutir o roteiro da aula prática entre si e tentasse montar todo o sistema experimental sem o auxílio de terceiros (professor, monitor ou técnico). Durante esse tempo, o monitor e o professor avaliaram a desenvoltura de cada



dupla. Ao final do tempo pré-estabelecido, eram realizadas discussões com cada par de duplas e eventuais dúvidas acerca da montagem e uso dos equipamentos foram resolvidas.

Em outro momento, o *Kahoot!* foi empregado como ferramenta de avaliação e revisão dos conteúdos abordados durante o semestre. O *Kahoot!* apresenta um funcionamento muito similar a um jogo interativo. A interface gratuita do software, disponibiliza controle de tempo (mínimo de 5 s e máximo de 240 s), pontos por questão (1000 a 2000 pontos) e tipo de questão abordada (2 ou 4 alternativas). Pode-se ainda implementar questões com ilustrações, como fotos, gráficos e diagramas. A Figura 1, ilustra o layout do Kahoot!.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

As questões abordadas no *Kahoot!* foram elaboradas conforme os temas das aulas. Na data de aplicação dessa ferramenta, as questões foram projetadas e os estudantes foram respondendo individual e simultaneamente, utilizando-se de seus dispositivos móveis (celular ou notebook). Como esperado, notou-se que houve uma grande interação entre o docente/tutor e os estudantes, assim como entre os próprios alunos. O *Kahoot!* ainda cria um sistema de ranking, em tempo real, de acertos e erros dos discentes, motivando-os a se empenharem ainda mais na atividade para alcançarem a primeira colocação. Quanto mais rápido uma questão é respondida corretamente, mais pontos o discente ganha no ranking geral.

Ao final da disciplina, o processo de aprendizado foi avaliado a fim de se obter informações para reforço, ajustes e/ou melhorias futuras. Para tal, os discentes responderam um questionário de avaliação da metodologia da disciplina. As respostas foram classificadas em um diagrama de 4 pontos: concordo plenamente, concordo parcialmente, discordo e indiferente).



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para um melhor esclarecimento das respostas frente a aplicabilidade do presente projeto, dividiu-se a apresentação dos resultados em três etapas: a análise das discussões acerca do PBL, o diagnóstico reflexivo referente ao emprego do Kahoot! e, por fim, a avaliação dos discentes frente a participação nas atividades propostas.

APLICAÇÃO DO PBL

Em um primeiro momento foi realizado um levantamento de dados para averificação do número de discentes que participaram da aplicação do PBL. A Figura 2 ilustra visualmente esse perfil. Observou-se significativa participação dos alunos na resolução da atividade proposta. Dos 19 alunos matriculados na disciplina, 89,52% propuseram ideias para a resolução do texto-problema.

Figura 2: Porcentagem de participação dos alunos nas atividades de PBL propostas dentro da disciplina de físico-química experimental.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

O elevado índice de participação dos discentes é indicativo de que o PBL pode ser aplicado no laboratório de físico-química. Geralmente, um aluno é estimulado a realizar uma atividade acadêmica, quando:

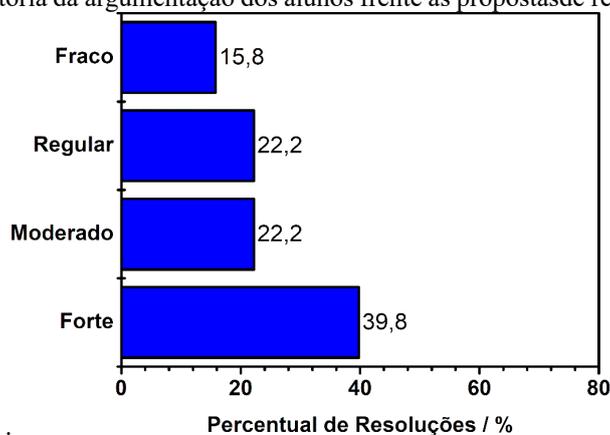
- Busca obter novos conhecimentos ou habilidades, deste modo, o aluno percebe razões significativas para a realização de determinada tarefa;
- O conteúdo abordado na atividade está relacionado aos interesses pessoais do aluno, ou seja, o aluno percebe a atividade como um desafio;
- A proposta é dada por metas específicas e de curto prazo.

No entanto, apenas a participação dos alunos não fundamenta a validade da presente proposta pedagógica. Deste modo, é imprescindível a análise exploratória dos diferentes métodos de resolução propostos ao texto-problema. Ressalta-se que as diversas soluções propostas para o problema foram apresentadas por meio de relatórios científicos, incluindo reflexões teóricas e análises do problema estudado. As resoluções foram avaliadas e os



argumentos foram classificados por uso de um sistema hierárquico definido como: Fraco, Regular, Moderado e Forte. Os resultados são descritos conforme a Figura 3.

Figura 3: Análise exploratória da argumentação dos alunos frente as propostas de resolução do estudo de caso.



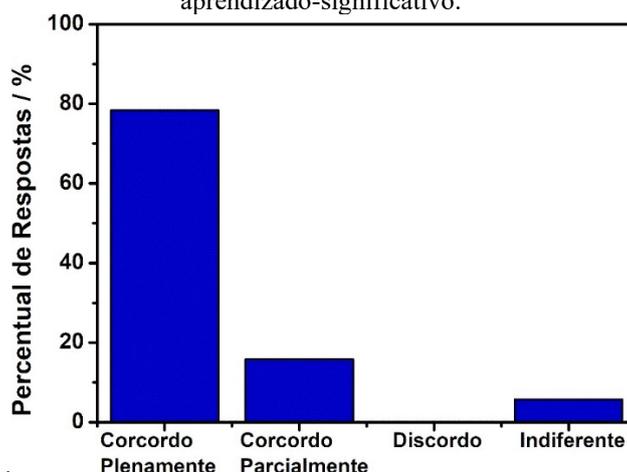
Fonte: Autoria Própria, 2022.

Aproximadamente 40% dos alunos propuseram soluções baseadas em argumentação forte, ou seja, a fundamentação teórica envolvida na resolução proposta estava bastante elaborada. Esse grupo de alunos ainda buscou alinhara lógica de resolução proposta com outros exemplos reportados na literatura. Tem-se ainda que 22,2% das resoluções enquadraram-se nas classes moderado ou regular. Ambas foram insatisfatórias por conterem detalhes conceituais equivocados, por exemplo: o efeito do pH na carga de superfície dos materiais adsorventes. Por fim, 15,8% dos argumentos foram apontados como fracos, neste caso, observou-se equívocos em alguns dos conceitos abordados. No entanto, esses pequenos problemas foram trabalhados e solucionados.

A eficácia do PBL como forma ferramenta educacional é mostrada na Figura 4. Cerca de 80% dos alunos relataram que a realização de um estudo de caso dirigido contribui significativamente para o aprendizado. Outro aspecto relevante foi a inexistência de avaliações que consideraram que a metodologia não contribuiu para o desenvolvimento acadêmico e pessoal. Entretanto, 5,5% informaram que a atividade foi indiferente. Esses resultados corroboram aos discutidos na literatura (QUEIROZ, 2012; LOPES; MARTINS, 2017), para esses autores, a resolução do estudo de caso promove interação entre indivíduos e desenvolvimento pessoal do discente, deste modo, esse recurso é facilmente recebido por um grande número de alunos.



Figura 4: Percentual de respostas dos discentes quando questionados se o estudo de caso promoveu o aprendizado-significativo.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Como já supracitado, a partir da aula prática número 7, propôs-se que os alunos tentassem montar os aparatos experimentais sozinhos e que, por fim, discutissem os possíveis fundamentos e resultados da respectiva prática. Importante dizer que o passo a passo da montagem dos ensaios experimentais estavam, em detalhes, na própria apostila texto-base da disciplina.

De resultado, notou-se a participação mais ativa na aula. Além disso, observou-se que os discentes começaram a questionar os conteúdos abordados em cada roteiro experimental. Tais práticas englobavam conceitos de montagem de sistemas eletroquímicos, identificação e medição de área de eletrodos e o preparo e padronização de soluções. Todos esses conceitos já haviam sido trabalhados em disciplinas teóricas, portanto era esperado o sucesso dos alunos na realização correta da atividade. A ideia desta etapa foi a de aproximar o aluno ao contexto do laboratório. Isso permitiu aos estudantes a consolidação da aprendizagem através da liberdade de construir conhecimento a partir do seu ponto de vista.

Dessa forma, pode-se dizer que o conjunto de dados aqui apresentados sugerem evidências indicativas de que o PBL proporciona melhores resultados de aprendizagem.

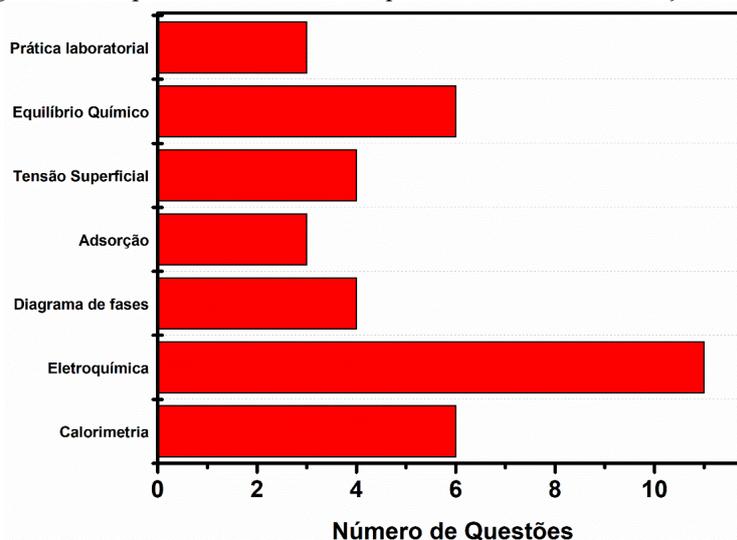
APLICAÇÃO DO *KAHOOT!*

A segunda etapa de aplicação do projeto envolveu o uso do *Kahoot!* como ferramenta pedagógica. Inicialmente, procedeu-se à análise exploratória do levantamento dos alunos ativos na aplicação do *Kahoot!*. Observou-se a participação de 100% dos alunos na atividade. Nessa fase de aplicação do projeto ocorreu o ápice de integração dos alunos. Nos primeiros momentos da atividade percebeu-se uma tensão inicial decorrente do receio frente a uma nova metodologia avaliativa. Entretanto, a situação acabou transformando-se em um momento de grande união



por parte dos discentes em prol das resoluções de cada questão abordada na atividade. Iniciou-se uma discussão ao final de cada pergunta, garantindo assim que todos os alunos entendessem a linha de raciocínio exigido para a resolução dos problemas propostos. Observou-se ainda a iniciativa dos discentes em auxiliar os colegas de turma no entendimento de cada questão. O questionário aplicado continha diversas questões e os temas abordados foram distribuídos conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5: Comparativo do número de questões abordadas em função do tema.

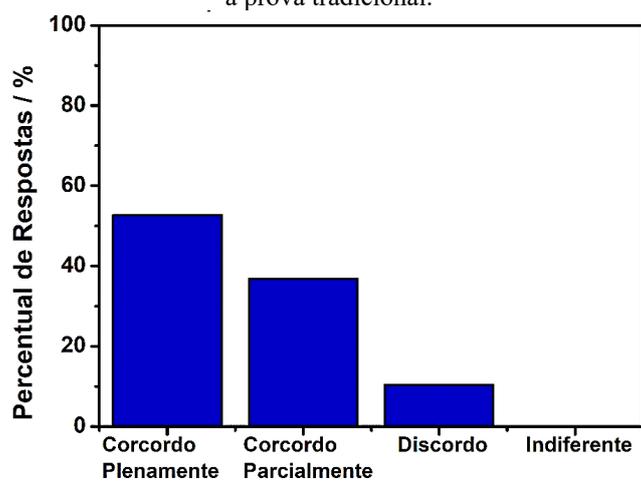


Fonte: Autoria Própria, 2022.

Para efeitos de verificação da validade da metodologia aplicada, os discentes responderam perguntas relacionadas ao uso do *Kahoot!* como uma promissora ferramenta de revisão e avaliação do conteúdo visto em sala de aula. Dos 19 alunos respondentes, 52,7% concordaram totalmente, ou seja, acreditam que o uso de softwares educativos realmente pode substituir ou implementar a avaliação tradicional (lápiz e papel). Cerca de 36,9% concordaram parcialmente com a metodologia. Enquanto que 10,4% relataram que preferem o método tradicional de avaliação. A justificativa dada baseou-se em aspectos de cunho psicológico, tais como nervosismo em realizar atividades acadêmicas na frente dos colegas de turma, entretanto, os mesmos discentes afirmaram que iriam ser favoráveis ao uso do aplicativo se a atividade fosse realizada em computadores individuais, ou seja, cada aluno respondendo em seu monitor e sem interação com os demais colegas. Esses dados estão indicados na Figura 6.



Figura 6: Opinião dos discentes quanto a aplicabilidade de métodos avaliativos alternativos (Kahoot!) em relação à prova tradicional.



Como já discutido, o *Kahoot!* é um aplicativo que fornece, ao final da aplicação, um feedback detalhado que abrange algumas variáveis interessantes para o processo de ensino-aprendizagem. O software cria uma listagem com os índices de erros e acertos referentes às questões expostas aos alunos ao longo da realização da atividade. Com o suporte ofertado pelo *Kahoot!* ainda é possível que seja visualizado quais as perguntas centrais que os alunos encontraram dificuldades ou erraram a resposta.

Deste modo, o professor pode realizar discussões direcionadas aos problemas enfrentados pelos discentes. Sendo assim, os docentes se beneficiam com essa ferramenta pedagógica em duas situações. A primeira reside no fato de um ensino mais dinâmico e participativo. A segunda engloba o uso e interpretação dos dados que podem ser coletados, analisados e revisados. Esse último caso fornece embasamento para a construção de uma variedade de avaliações (DELLOS, 2015).

Tendo por base os dados aqui expostos pode-se averiguar que *Kahoot!* é uma ferramenta promissora de avaliação formativa, permitindo o diálogo entre docente/aluno, viável, prática e que torna o aprendizado divertido e agradável. Além disso, o aplicativo pode ser facilmente empregado para motivar os alunos a aprender ou a revisar conteúdos já abordados. Cabe ainda afirmar que com o advento das inovações tecnológicas, os professores necessitam dispor de situações didáticas de ensino e aprendizagem aptos para dialogar com as mais recentes demandas dos estudantes, fascinados pelas tecnologias e aparelhos digitais.

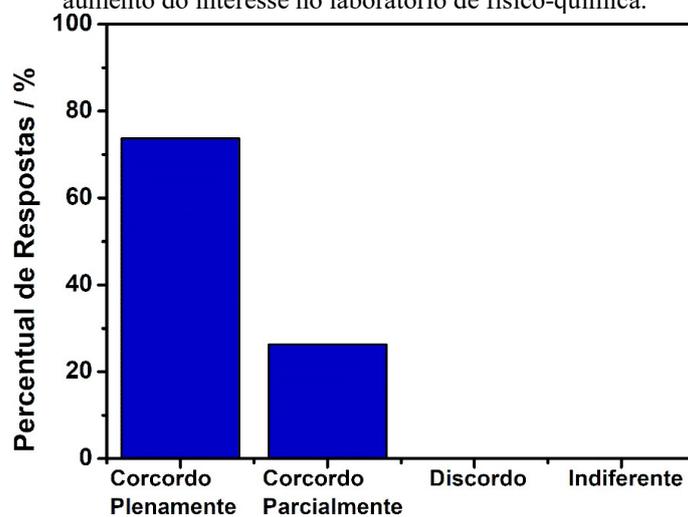


AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DO PROJETO PEDAGÓGICO

A terceira etapa do trabalho consistiu na realização de levantamento de dados que permitiram a validação da proposta pedagógica proposta. Os dados aqui apresentados foram coletados por meio de formulário respondido pelos alunos após a aplicação das atividades.

O primeiro parâmetro analisado foi a relevância das ferramentas construtivistas empregadas no envolvimento dos alunos em seus estudos de físico-química experimental. Os dados obtidos estão mostrados na Figura 7. Pode-se afirmar que os dados sustentam positivamente a proposta de ensino- aprendizagem abordada. Quase 80% dos alunos concordam que o uso de metodologias de ensino dinâmicas desperta o interesse pela disciplina. Esses dados indicam que há razões para que o docente empregue práticas construtivistas para transmitir o conteúdo das aulas.

Figura 7: Percentual de respostas dos discentes quando questionados se as atividades propostas ocasionaram o aumento do interesse no laboratório de físico-química.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Diante das ideias e resultados expostos, nota-se que no processo de ensinar e de aprender, infere-se que o docente possui papel fundamental, visto que é ele quem deve mobilizar e produzir os saberes ao longo do exercício do magistério. No entanto, os docentes devem possuir metodologias de ensino eficientes e atrativas, em outras palavras, devem apresentar o conteúdo de forma não meramente técnica. Cabe a cada docente o poder da construção e adaptação dos métodos de ensino-aprendizagem que promovem o real aprendizado dos estudantes.

CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

O uso de recursos pedagógicos construtivistas, como o PBL e o *Kahoot!*, demonstraram-se como metodologias de ensino mais dinâmicas. Aproximadamente 80% dos



discentes avaliaram positivamente a metodologia proposta. Ainda foi possível inferir que o emprego de metodologias construtivistas contribuiu para o desenvolvimento acadêmico dos discentes.

O desempenho dos alunos na resolução do estudo de caso foi satisfatório. A maioria dos discentes conseguiu discutir o assunto abordado com relativa profundidade. O levantamento estatístico revelou que o tempo de resolução fornecido foi adequado e que o uso do PBL promove o aprendizado significativo. A participação ativa dos alunos no questionário aplicado via *Kahoot!* mostrou que o uso do software é bastante promissor para o aprendizado significativo. Os discentes promoveram discussões pautadas nas questões abordadas na atividade. Os dados avaliados nessa etapa demonstraram que a ferramenta foi bem recebida pelos alunos.

A inovação de uma proposta de ensino representa dedicação extra, tanto do professor quanto dos alunos. É preciso que os participantes do processo estejam engajados no possível potencial pedagógico proposto.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, S.B.; PACHECO, V.A. et al. **Metodologias ativas no ensino superior: percepção de docentes em uma instituição privada do distrito federal**. Revista Docência do Ensino Superior, v. 9, p. 1–22, 2019.

BACKES, D.S.; MARINHO, M. et al. **Repensando o ser enfermeiro docente na perspectiva do pensamento complexo**. Revista brasileira de enfermagem, v. 63, p. 421–426, 2010.

CARBOGIM, F.C.; OLIVEIRA, L. et al. **Ensino das habilidades do pensamento crítico por meio de problem based learning**. Texto Contexto Enfermagem, v. 26, n. 4, p. 2017, 2017.

CHAHUÁN-JIMÉNEZ, K. **Evaluación cualitativa y gestión del conocimiento**. Educación y Educadores, v. 12, p. 179–195, 2009.

COELHO, P.M.F.; MOTTA, E.L.O. et al. **Reflexões interdisciplinares sobre o aplicativo Kahoot! no ambiente educacional**. Acta Semiótica et Lingüística, v. 22, p. 18–29, 2017.

COSTA, C.H.C.; DANTAS FILHO, F.F. et al. **Marvinsketch e kahoot como ferramentas no ensino de isomeria 1**. Holos, v. 01, p. 31–43, 2017.

COVOS, J.C.; COVOS, J.F. et al. **O novo perfil de alunos no ensino superior, ea utilização de jogos lúdicos na facilitação do ensino aprendizagem**. Revista Saúde em Foco, p. 62–74, 2018.

DELLOS, R. **Kahoot! a digital game resource for learning**. International Journal of Instructional Technology and Distance Learning, v. 12, p. 49–52, 2015.



DEMO, P. **Educar pela Pesquisa**. 4. ed. Campinas, SP: Autores Associados, 2000.

DUCH, B.J.; GROH, S.E. et al. **The Power of Problem-based Learning: A Practical “how To” for Teaching Undergraduate Courses in Any Discipline**. Stylus Publishing, LLC, 2001.

GAVIRIA, R.A.C. **O papel da universidade pública: práticas de formação e gestão em contexto**. Revista Educação Pública, v. 28, p. 413–428, 2019

GAZOTTI-VALLIM, M.A. et al. **Vivenciando inglês com o Kahoot**. Descrição, Ensino e Aprendizagem, v. 38, p. 1–18, 2017.

KRÜGUER, L.M.; ENSSLIN, S.R. **Método Tradicional e Método Construtivista de Ensino no Processo de Aprendizagem: uma investigação com os acadêmicos da disciplina Contabilidade III do curso de Ciências Contábeis da Universidade Federal de Santa Catarina**. Organizações em contexto, v. 9, p. 219–270, 2012.

LOPES, P.A.; MARTINS, D.B. **PBL: uma solução para integração e gerenciamento dos diversos tipos de projetos na engenharia civil**. Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 12, p. 53–67, 2017.

MIRANDA Jr, U.J.P. **Problem Based Learning como metodologia inovadora no ensino de graduação em saúde**. Revista Portuguesa de Medicina Geral e Familiar, v. 32, p. 12–13, 2016.

MIRANDA, G.J.; CASA NOVA, S.P. et al. **Os Saberes dos Professores- Referência no Ensino de Contabilidade**. Revista Contabilidade e Finanças, v. 23, p. 142–153, 2012.

QUEIROZ, A. **PBL, Problemas que trazem soluções**. Revista Psicologia, Diversidade e Saúde, v. 1, 2012.

RAPOPORT, A.; SILVA, J.A. **A utilização de referenciais teóricos na prática docente**. Psicol. Am. Lat., México, n.5, fev. 2006

ROMIO, T.; CRISTINE, S. et al. **Kahoot e GoConqr: uso de jogos educacionais para o ensino da matemática**. Scientia cum Industria, v. 5, p. 90–94, 2017.

SANDE, D.; SANDE, D. **Uso do Kahoot como ferramenta de avaliação e ensino-aprendizagem no ensino de microbiologia industrial**. Holos, v. 01, p. 170–179, 2018.

SANTOS, W.S. dos. **Organização curricular baseada em Competência na Educação Médica**. Revista brasileira de educação médica, v. 35, n. 1, p. 86– 92, 2010.

ZUCCO, C.; PESSINE, F.B.T. et al. **Diretrizes curriculares para os cursos de Química**. Química Nova, v. 22, p. 454–461, 1999.



CAPÍTULO 18

ANÁLISE TÉRMICA NA CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS EMULSIVOS PARA USO CAPILAR

Carina Soares Do Nascimento
Neila De Paula Pereira

RESUMO

Na flora do semiárido baiano são extraídos óleos fixos oriundos das amêndoas cultivadas na região, e esses óleos podem ser utilizados na área cosmética. Este trabalho desenvolveu emulsões capilares catiônicas do tipo Óleo-Água(O/A) contendo óleos fixos oriundos do semiárido baiano, são eles: Macadâmia, Licuri, Baru e Pequi. Posteriormente, foi avaliado parâmetros físico-químico das emulsões como estabilidade, espalhabilidade e textura dos produtos. Com a análise termogravimétrica (TGA) foi estudado a degradação térmica correlacionada ao processo de emulsificação a quente e a estabilidade da fase aquosa com a fase oleosa. As análises com TGA permitiu identificar a necessidade de saber a temperatura de degradação do agente emulsificante, de forma a garantir a integridade deste na formulação. Ficou evidente que há diferença no perfil térmico dos óleos puros e dos óleos nas emulsões. Foi discutido a faixa de temperatura adequada para o uso das Máscaras de Hidratação Capilar com técnicas à quente sem ocorrer perda dos seus constituintes. O teste de espalhabilidade e textura *in vitro* apresentaram-se adequados e compatíveis com a relação graxa de ácidos graxos insaturados na composição dos óleos. As emulsões desenvolvidas com óleo de licuri apresentaram melhor resistência térmica. O emprego da Análise Térmica se mostrou uma ferramenta útil para analisar e caracterizar o comportamento térmico de uma emulsão capilar, ter melhor controle na produção e estabilidade da emulsão, auxilia na forma de armazenamento e poder orientar o uso correto dessas formulações pelos usuários. Tais contribuições tornam a análise térmica um recurso adicional de garantia da qualidade e eficácia do cosmético.

PALAVRA-CHAVE: Emulsões capilares, espalhabilidade, textura, análise termogravimétrica.

INTRODUÇÃO

Segundo Silva, Paola e Matos (2007) no âmbito cosmético as técnicas termoanalíticas podem ser utilizadas desde o controle de matéria-prima e produtos acabados até a caracterização de novos produtos: determinação de pureza, estudo de compatibilidade de formulação, na identificação de polimorfos, avaliação de estabilidade e, em estudos de decomposição térmica dos princípios ativos, excipientes e demais matérias-primas que constitui as formulações cosméticas em estudo. Dentre as técnicas de análise térmica pode-se citar: a Calorimetria Exploratória Diferencial-DSC, a Análise Térmica Diferencial-DTA e a Análise Termogravimétrica-TGA (SEGOVIA; DUTRA, 2004).



O mercado de cosmético expande a cada ano, uma vez que, cresce o culto e a busca da beleza, saúde, longevidade e bem estar (OLIVEIRA et al., 2009). Surgem novos investimentos neste ramo, o que aumenta o consumo, assim como surgem as inovações nos produtos devido ao público diversificado e aos diferentes níveis de poder aquisitivo (FRITZ; SOUZA, 2006).

Quando se fala de emulsões capilares, a emulsão catiônica é uma classificação representada por condicionantes e máscaras de hidratação capilar. A emulsão catiônica atua reduzindo a eletricidade estática, neutralizando as cargas negativas deixadas pelo xampu e as cargas negativas já existentes no cabelo ressecado melhorando, assim, a textura do cabelo.

A Máscara de Hidratação Capilar quando usada na hidratação tem a finalidade de selar a cutícula do cabelo e proteger o córtex no seu interior, já os condicionantes, por sua vez, visam neutralizar o efeito estático dos fios de cabelo, hidratar e melhorar a retenção hídrica. As máscaras capilares têm constituintes semelhantes ao dos condicionadores, para ter uma alta capacidade de viscosidade a máscara capilar tem maior concentração dos agentes espessantes (TAMBOSETTI et al., 2008).

Os estudos visam caracterizar emulsões capilares com técnicas termoanalíticas, tornando possível avaliar o perfil de estabilidade e eficácia térmica dos óleos e emulsionantes utilizados, assim como auxiliar no desenvolvimento, produção e controle das formulações cosméticas (SILVA; PAOLA; MATOS, 2007).

Os óleos vegetais possuem uma composição centesimal de corpos graxos variáveis, de acordo com o tipo de óleo, o que confere propriedades determinantes (baixa viscosidade e peso molecular, possibilidade de fornecer nutrientes, boa penetração) para o uso em cosméticos, tornando-se um constituinte da fase oleosa de emulsões cosméticas (PEREIRA, 2008). Eles são empregados como emolientes, suavizando e amaciando a superfície do cabelo.

Visto que há uma grande procura e interesse por cosméticos para cabelo que auxiliem no tratamento, manutenção e /ou modificação das características capilares, e que não há relatos na literatura do uso da termogravimetria em sistemas emulsivos, este trabalho visa estudar o comportamento térmico de emulsões capilares, bem como, discutir estabilidade das emulsões e a influência térmica no processo de preparo das formulações.

Como há um crescente uso de diversos óleos vegetais, tais como: abacate, amêndoas, babosa, camomila, babaçu, linhaça, girassol, argânia, entre outros em emulsões capilares. A fim de agregar valor a óleos do semi-árido baiano, escolheu-se para desenvolvimento de emulsões capilares os seguintes óleos: Macadâmia (*Macadamia integrifolia*), Licuri (*Syagrus coronata*),



Baru (*Dipteryxalata*) e Pequi (*Caryocarbrasiliense*). A eficácia do preparo será analisada pelo estudo de estabilidade, pH, espalhamento, textura e análise térmica.

METODOLOGIA

1) Foram selecionados os óleos vegetais do semi-árido baiano: Macadâmia, Licuri, Baru e Pequi e avaliado o seu perfil de ácidos graxos.

2) Foram produzidas as emulsões à quente a $75 \pm 5^\circ\text{C}$, sendo 5 formulações Condicionantes e 5 formulações de Máscara de Hidratação Capilar (MHC). Na formulação de controle foi utilizado o óleo mineral, enquanto que, nas outras formulações, em cada uma, foi substituído por um óleo vegetal (licuri, baru, pequi e macadâmia).

3) Para avaliar as formulações, foi avaliado o pH e realizado o ensaio de estabilidade acelerada da Anvisa, Brasil (2004).

4) Outra análise realizada foi o teste *in vitro* de performance dos produtos: Espalhabilidade através do Dispositivo validado por Knorst (1991) nos produtos de pós-preparo (2 dias), 90 dias e 30 meses (envelhecimento natural) e Análise de Textura nos produtos de pós preparo (2 dias) e 30 meses.

5) Para avaliar as características térmicas foi realizado a Termoanálise dos óleos vegetais (Baru, macadâmia, Licuri e Pequi), do óleo mineral, dos emulsionantes (Cloreto de cetrimônio e cloreto de diestearildimetilamônio) e das formulações (condicionantes e máscara capilares) utilizando Analisador Termogravimétrico (TGA) da Shimadzu, modelo TGA-51H.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

SELEÇÃO DOS ÓLEOS MINERAIS

Para escolha dos óleos vegetais foram avaliados as características peculiares de cada óleo e observar a influência graxa na produção das emulsões capilares. Os perfis graxos pesquisados foram relacionados à proporção entre ácidos graxos saturados e insaturados, e à proporção entre ácidos graxos monoinsaturados e poliinsaturados.



Tabela 1: Percentagem de ácidos graxos em óleos vegetais.

Ácido graxo	Licuri*	Pequi**	Baru ^(*)	Macadâmia ^(**)
SATURADOS	91,23	37,82	18,77	28,68
C8:0 -Caprílico	26,68	-----	-----	-----
C10:0 - Cáprico	13,94	-----	-----	-----
C12:0 - Láurico	36,43	0,04	-----	-----
C14:0 - Mirístico	7,15	0,13	-----	-----
C16:0 – Palmítico	3,98	35,17	7,39	27,01
C18:0 - Esteárico	3,05	2,25	4,62	1,67
C20:0 - Araquidônico	-----	0,23	1,10	-----
C22:0 - Behênico	-----	-----	2,64	-----
C24:0 - Lignocérico	-----	-----	3,02	-----
MONOINSATURADOS	4,08	57,99	48,37	60,19
C16:1 - Palmitoléico	-----	1,03	-----	-----
C18:1n-9 - Oléico	4,08	55,87	48,37	60,19
C18:1n-7 - Cisvacênico	-----	1,9	-----	-----
POLIINSATURADOS	1,02	0,45	32,35	6,26
C18:2n-6c - Linoléico	1,02	-----	30,13	-----
C18:3 – Alfa-linoléico	-----	0,45	2,22	6,26

Fonte: *GOMES et al.,2008; **AGUILAR, 2010; (*)FERNANDES, 2011; (**)MARO, et al.,2012.

Conforme é demonstrado na tabela 1, o óleo de licuri foi escolhido por possuir um alto percentual de ácidos graxos saturados (91,23%), especialmente de cadeia curta, frente a outros óleos. O óleo de baru foi escolhido por possuir um teor elevado de ácidos graxos poliinsaturados (32,35%). O óleo de pequi por sua vez, por possuir praticamente ácidos graxos insaturados do tipo monoinsaturado (57,99%). O óleo de macadâmia apesar de já ser utilizado em emulsões capilares e não ser de originário do semiárido baiano tem um perfil de Ácidos Graxos Insaturados (AGI) semelhante ao do óleo de Pequi. Para este trabalho especificamente utilizou-se o óleo de macadâmia produzidos em terras baianas e se observou se o óleo de macadâmia a pequi tem comportamento semelhante.

TESTE DE ESTABILIDADE / pH

No teste de estabilidade todas as formulações (pós-preparo, 90 dias e 30 meses) apresentaram-se isentas de cremeação, sedimentação, floculação ou coalescência. Isso indica que os procedimentos foram eficientes e que houve uma boa dispersão da fase oleosa na fase aquosa. O pH do cabelo está entre 4,0 – 5,0 (ácido) (OLIVEIRA,2013), um pH ácido permite



que as cutículas do fio de cabelo sejam seladas retendo nutrientes e garantido maior hidratação, por isso o pH ideal para condicionadores é de 4,0 (CAROLINA; ARANHA; AQUINO, 2015), sendo possível estabelecer uma faixa de pH para máscaras de hidratação e condicionadores entre 4,0 – 5,5 (SILVA, 2013). Tanto as MHC como os Condicionantes entre 0-90 dias apresentaram o pH adequado para uso nos cabelos e mantiveram pH estável, o pH das formulações variou entre 4,09 – 5,35. Todas os Condicionantes e MHC's tiveram seu pH reduzido após 30 meses, sendo que apenas as formulações com óleo de Baru e a Controle foram as que se mantiveram dentro da margem de pH aceitável.

TESTE DE ESPALHABILIDADE / ANÁLISE DE TEXTURA

Uma viscosidade adequada com um bom efeito de espalhamento confere uma boa característica às emulsões cosméticas cremosas na sua aplicação. Nos testes realizados, tanto para os condicionantes quanto para as MHC's, houve um aumento na espalhabilidade entre as formulações pós preparo e 90 dias (figura 1 e 2).

É possível observar a partir da figura 6 que todas as Emulsões Condicionantes feitas com os óleos sugeridos apresentaram uma espalhabilidade maior que a Emulsão Condicionante Controle seja no pós preparo como em 90 dias. Após 30 meses armazenadas à $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, no abrigo de luz a Emulsão Condicionante Controle (Figura 1) manteve o espalhamento semelhante ao realizado aos 90 dias, enquanto as Emulsões Condicionantes de óleo de Licuri, óleo de Pequi, óleo de Baru e óleo de Macadâmia apresentaram uma redução no espalhamento de aproximadamente 30%, 20%, 10% e 25%, respectivamente. Neste caso, o Condicionante de óleo de Licuri apresentou maior redução na sua espalhabilidade o que refletiu no aumento de sua viscosidade.

Enquanto que, nas MHC's apenas a formulação com Pequi apresentou espalhamento maior que a formulação Controle (figura 2) tanto no pós-preparo como em 90 dias. Essa observação pode ser atribuída a diferença percentual dos constituintes da fase oleosa usado nas formulações condicionantes e de MHC's, respectivamente, 6,35 % e 8,5 %.

O que diferenciou foi a ordem crescente de espalhamento que no pós-preparo era: controle < licuri < pequi < macadâmia < baru, e em 90 dias se apresentou como: controle < pequi < licuri < baru < macadâmia. É importante considerar que pode ocorrer um rearranjo micelar que torna a emulsão mais estável e por isso, é possível observar a alteração na ordem crescente do espalhamento entre as emulsões em estudo.

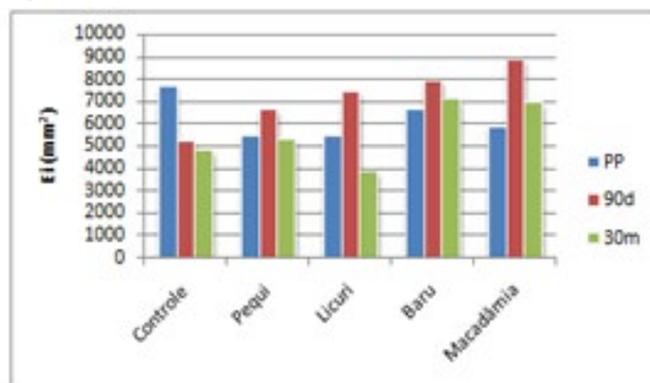


Nas MHC's após os 90 dias, todas as emulsões feitas com os óleos sugeridos apresentaram espalhabilidade menor que a emulsão de MHC Controle (figura 2). A ordem crescente de espalhamento que no pós preparo era óleo de: baru < macadâmia < licuri < controle < pequi, e em 90 dias se apresentou como óleo de: macadâmia < licuri < baru < pequi < controle.

Após 30 meses as emulsões da MHC Controle, de óleo de Pequi e de óleo de Licuri apresentaram uma redução de 50%, 20% e 25% do espalhamento (Figura 2).

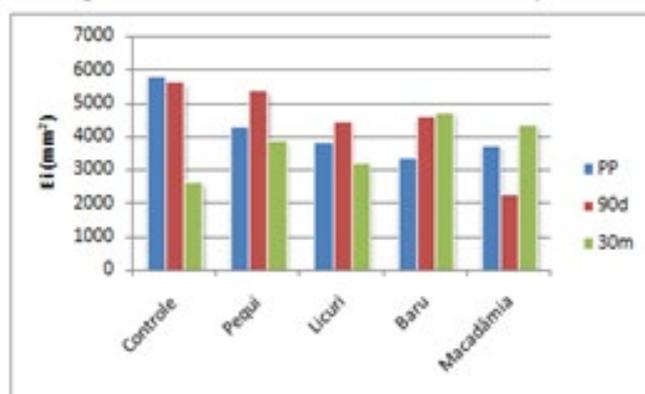
Aparência, oleosidade residual, contato do produto com local de aplicação e espalhabilidade são fatores que norteiam a aceitação do consumidor por um produto (FRANÇA et al., 2011). No teste de espalhabilidade aplica-se uma determinada força entre o creme e uma superfície, e desta forma auxilia na reprodução das condições de esforço necessário para aplicar a emulsão no cabelo. No geral, tanto as Emulsões Condicionantes como as MHC's se mostraram com boa espalhabilidade desde o pós- preparo (2 dias) até o envelhecimento natural (30 meses). Mesmo com a redução da espalhabilidade das emulsões condicionantes e MHC's após 30 meses é possível verificar que não compromete a qualidade do produto quando este parâmetro físico é avaliado.

Figura 1: Perfil de estabilidade das Emulsões Condicionantes.



Fonte: Da autora, 2022.

Figura 2: Perfil de estabilidade das MHC's.



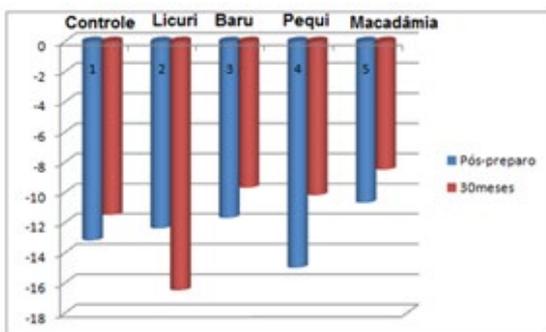
Fonte: Da autora, 2022.



Na análise de textura é possível avaliar o sensorial do creme pela propriedade de adesividade. É um parâmetro que pode ser correlacionado com a aderência do produto à pele e seus resultados são expressos em valores negativos. Quanto maior o valor negativo da adesividade, maior a sua aderência, e conseqüentemente, menor sua espalhabilidade no fio do cabelo.

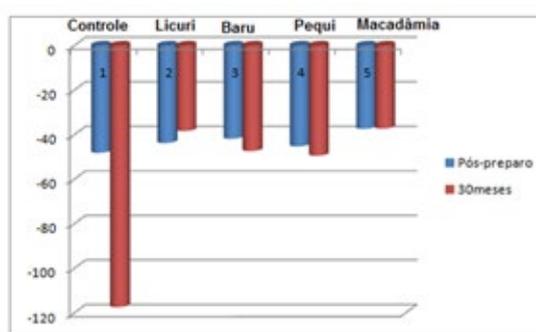
No geral ao observar os gráficos (figura 3 e 4) para as emulsões MHC's houve pequenas alterações na adesividade entre o pós-preparo e após 30 meses. Já as emulsões Condicionantes com óleos de Baru, Pequi e Macadâmia reduziu em 15% sua adesividade, diminuindo a aderência, o que implica em maior espalhamento. A máscara capilar com o óleo de Licuri por sua vez aumentou em 35% sua adesividade, o que implicou em uma redução na sua espalhabilidade ao longo do fio. Desta forma, as MHC apresentaram menor espalhabilidade que os Condicionantes, uma vez que este possui maior fluidez.

Figura 3: Gráfico com Propriedade de Adesividade dos Condicionantes.



Fonte: Da autora, 2022.

Figura 4: Gráfico com Propriedade de Adesividade MHC's.



Fonte: Da autora, 2022.

ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA)

Análise térmica dos óleos

Muitos óleos estão sendo largamente utilizados em cremes capilares por contribuir na hidratação e emoliência dos cabelos. Como foi proposto usar alguns óleos para auxiliar na emoliência e maior hidratação dos cabelos, foi realizado também o TGA dos óleos utilizados nas emulsões, uma vez que a TGA é um método que pode contribuir na caracterização, avaliação do comportamento térmico e estabilidade (SILVA; PAOLA; MATOS, 2007) e, portanto, pode contribuir no controle de qualidade das matérias-primas (KALOUSTIAN; PAULI; PASTOR, 2000). Ao observar a curva de TGA dos óleos (Figura 5) nota-se que na temperatura de 75°C os óleos se mantêm estáveis, apenas o Óleo de Pequi teve 0,7% de sua massa degradada nessa temperatura. Desta maneira, na temperatura de produção da emulsão os



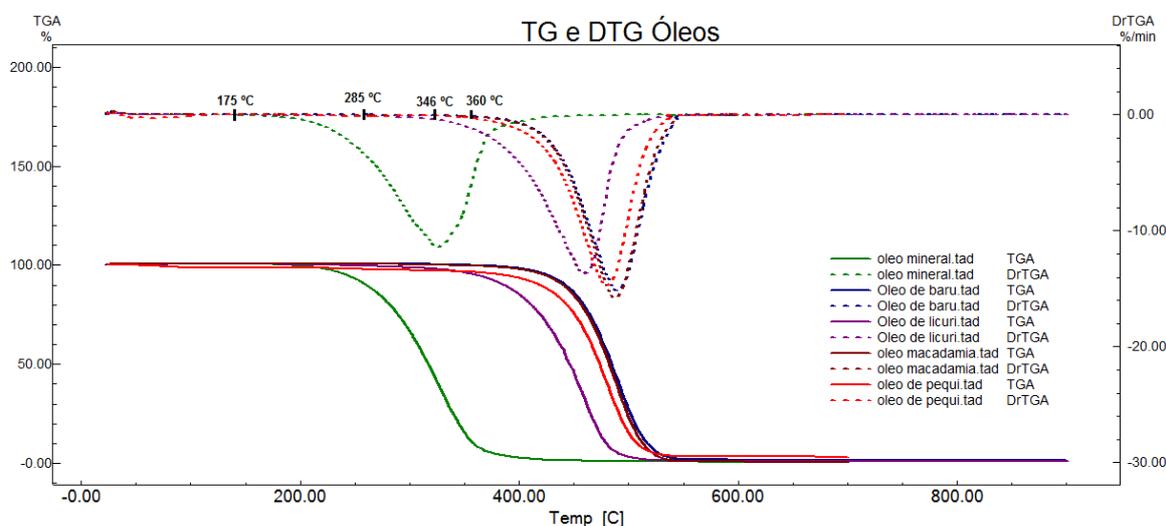
óleos não sofreram degradação térmica. Na tabela 2 pode-se notar a temperatura inicial de degradação de cada óleo e a relação com as insaturações dos mesmos.

Tabela 2: Relação Insaturações dos óleos x Temperatura inicial de degradação.

Óleo	Insaturações (%)	Temperatura Inicial de degradação (°C)
Licuri	5,10	285
Pequi	58,44	346
Macadâmia	66,45	360
Baru	80,72	360

Fonte: Da autora, 2022

Figura 5: Curva TG e DTG dos óleos.



Fonte: Da autora, 2022.

Há uma linearidade de 96,7 % entre a temperatura inicial de degradação com o percentual de insaturações de triacilglicerídeos de cada óleo, mesma observação que foi feita por Garcia et al (2004). O óleo de Licuri em relação aos outros óleos em estudo possui maior teor (84,2%) de triacilgliceróis de ácidos graxos saturados de cadeia mais curtas (cadeias com até 14 carbonos), que são mais voláteis que os triacilglicerídeos de cadeia longa, o que explica ter uma faixa de temperatura de estabilidade e de temperatura inicial de decomposição mais baixa em comparação com os outros óleos. Enquanto que, os óleos de Baru e óleo de macadâmia com maiores percentuais de insaturações presentes na sua composição, 80,71% e 66,45% respectivamente, tiveram a maior temperatura inicial de degradação (tabela 2). Isso pode estar atribuído ao comprimento da ligação ser menor em ligação dupla e tripla em relação a ligação simples, o que requer maior energia para ocorrer o rompimento destas ligações (CARAM, 2000).



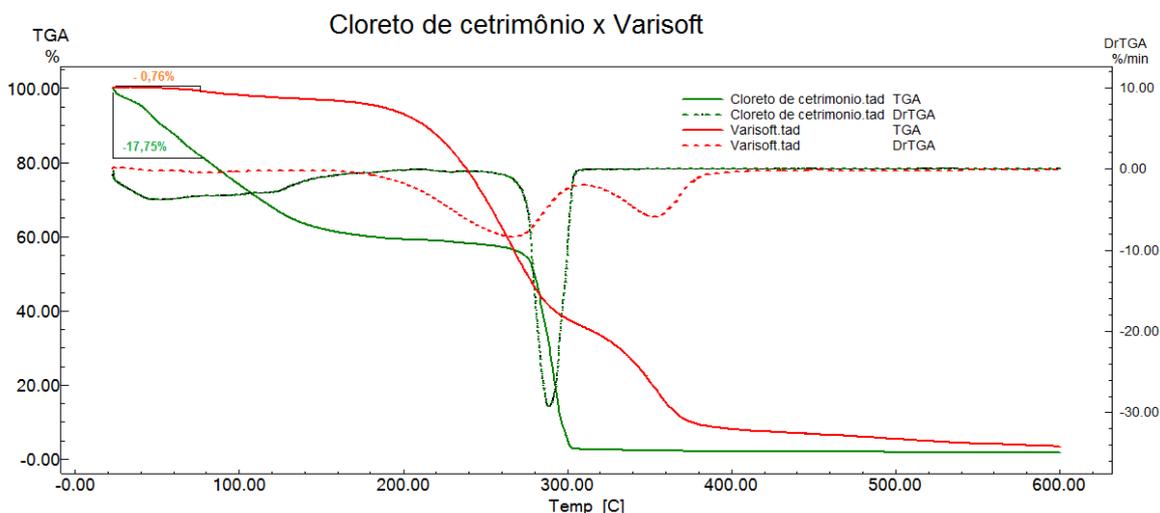
Análise térmica dos emulsionantes

O preparo das emulsões foi feito a quente, atingindo uma temperatura máxima de 75°C. Sabe-se que uma emulsão se desestabiliza à medida que a temperatura aumenta, devido a influencia direta na solubilidade dos tensoativos (KOKAL, 2002), uma vez que a temperatura afeta as propriedades físicas da fase aquosa e fase oleosa e do filme interfacial (BRITTO, 2013). Logo, a estabilidade de uma emulsão pode ser afetada pelo tipo e concentração de uma emulsão (DICKISON, 2003; BRITTO, 2013).

O emulsionante é o agente responsável por formar a fase interfacial entre a fase aquosa e a fase oleosa, deve-se conhecer o perfil de degradação térmica do emulsionante para definir uma concentração segura na fórmula que garanta a formação estável da fase interfacial. Foi realizado o TG dos emulsificantes catiônicos: Cloreto de cetrimônio e cloreto de diesterarildimetilamônio (Varisoft), a fim de verificar primeiramente a sua estabilidade térmica até a temperatura de preparo da emulsão.

Na curva de termogravimétrica (figura 6) é possível notar que a uma temperatura de 75°C o cloreto de diestearildimetilamônio mostrou-se menos susceptível a degradação térmica que o cloreto de cetrimônio. Enquanto o cloreto de cetrimônio tem uma degradação de 17,75%, a Varisoft tem 0,76% de sua massa degradada. O cloreto de cetrimônio tem uma perda considerável na temperatura de produção da emulsão condicionante, podendo interferir no tempo de estabilidade da emulsão, portanto, na validade da mesma. Para garantir a concentração correta do emulsificante pode-se considerar a perda durante a produção da fase aquosa, fazendo uma correção da massa que se usará, e consequentemente, garantir que essa perda não reflita na validade da emulsão.

Figura 6: Curva TGA/ DTG dos Emulsionantes: Cloreto de cetrimônio e Cloreto de diesterarildimetilamônio (Varisoft).



Fonte: Da autora, 2022.



Análise térmica das emulsões

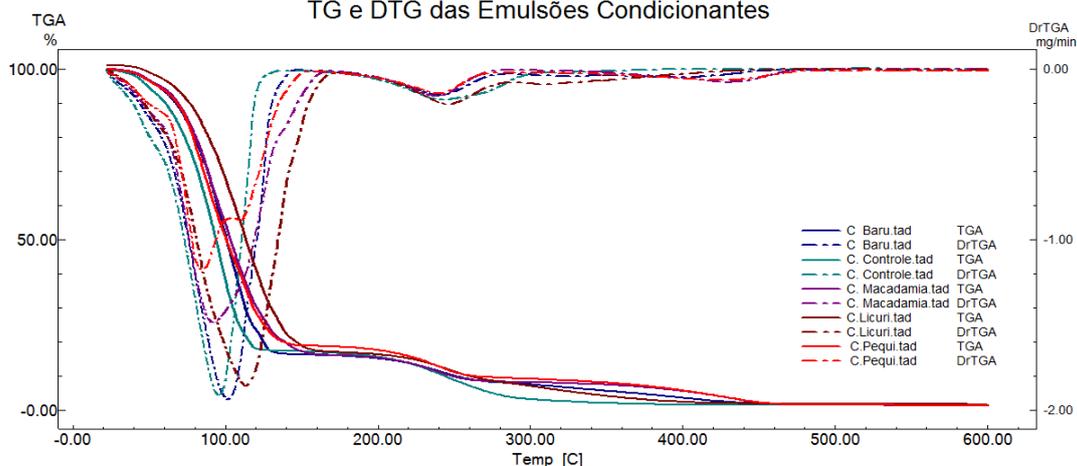
A tabela 3 e a figura 7 e 8 da análise termogravimétrica dos emulsionantes, apresenta a Emulsão Condicionante mais sensível a temperatura que a MCH, uma vez que um percentual de massa degrada em relação a temperatura é maior quando comparadas. Essa sensibilidade pode ser atribuída a degradação térmica numa temperatura mais baixa do emulsionante, cloreto de cetrimônio em relação ao cloreto de diestearildimetilamônio utilizado na MHC, conforme a figura 7. Na tabela 3 é possível observar melhor o perfil de degradação de cada emulsão, em que as emulsões com óleo de Licuri são as que degradam menos em relação as outras.

Tabela 3: Perda de massa x Temperatura.

Óleo	Condicionante		MHC	
	Até 100°C	Até 200°C	Até 100°C	Até 200°C
Licuri	33 %	83 %	29 %	75 %
Pequi	49 %	95 %	35,9 %	77 %
Macadâmia	45 %	95 %	39 %	88 %
Baru	49 %	95 %	39 %	80 %

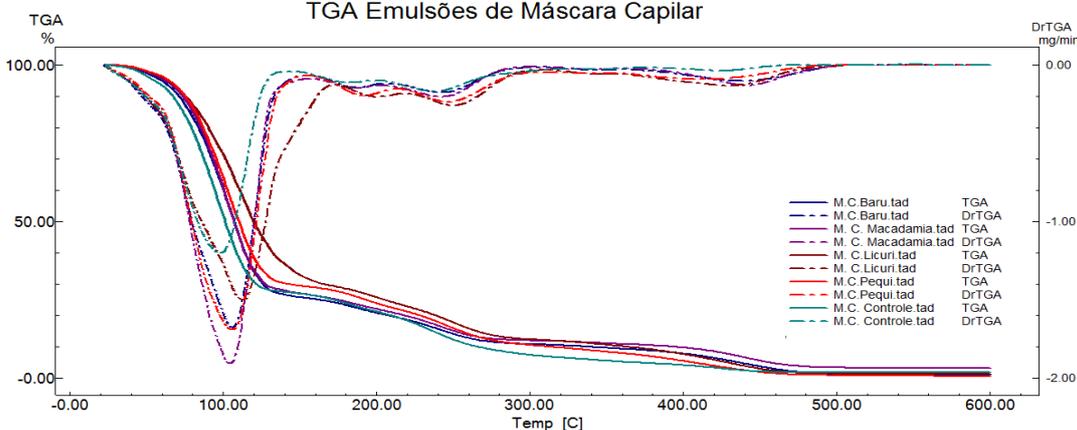
Fonte: Da autora, 2022.

Figura 7: Curva TG e DTG das emulsões condicionantes.
TG e DTG das Emulsões Condicionantes



Fonte: Da autora, 2022.

Figura 8: Curva TG e DTG das emulsões MHC.
TGA Emulsões de Máscara Capilar



Fonte: Da autora, 2022.



Nas emulsões Condicionantes a DTG apresentam três eventos de degradação, enquanto que nas MHC's apresentam quatro eventos. Em ambas, o primeiro evento de degradação térmica pode estar relacionado aos constituintes de baixo ponto de ebulição e pela fase aquosa da emulsão. A emulsão é um líquido disperso no outro, e no líquido há moléculas que o constitui pode ter uma energia cinética maior em relação às outras. Com isso, essas moléculas podem escapar da superfície do líquido produzindo a vaporização superficial (CARVALHO; SILVA, 2006). Como a fase dispersante na emulsão é a fase aquosa, pode haver moléculas de água e de constituintes de menor ponto de ebulição que escapem da superfície da emulsão em temperaturas abaixo de 100°C.

Além disso, por haver outros componentes, parte da água pode estar evaporando após o seu ponto de ebulição, devido às interações intermoleculares com as outras moléculas presente na emulsão. A água em uma matriz com vários componentes pode se ligar por meio de ligações de hidrogênio, o que demandará maior energia para quebra da ligação (BOBBIO; BOBBIO, 2001) que pode ultrapassar a temperatura de ebulição da água.

O segundo evento pode está relacionado com a degradação do emulsionante cloreto de cetrimônio e cloreto de diestearildimetilamônio. Esse segundo evento na DTG da Máscara Capilar coincide com a o segundo evento da DTG do Emulsionante (figura 6). O terceiro evento por sua vez, pode está relacionado a degradação dos óleos, visto que estes têm temperatura inicial de degradação entre 285 °C – 340 °C. No quarto evento presente nas MHC's, pode-se ter os demais constituintes que degradem em temperaturas por volta de 400°C.

Deste modo, um sistema complexo com vários constituintes requer a necessidade de realizar outras técnicas termoanalíticas visando atribuir de forma mais precisa os eventos térmicos. Nos dois tipos de emulsões a fórmula que contém óleo de licuri degradou menos, sendo esta que possui menor percentual de ácidos graxos insaturados no óleo, enquanto que os outros óleos têm um teor superior de ácido graxo saturado e tiveram uma degradação maior entre 3-5% a mais) em relação às fórmulas com óleo de licuri.

Degradação térmica da máscara de hidratação capilar (mhc)

Outra característica analisada foi a degradação da emulsão em relação a potencialização da hidratação com uso de técnicas à quente. O uso de técnicas à quente auxilia na hidratação mais profunda do cabelo, pois a temperatura contribui para a abertura das cutículas capilar, conseqüentemente, aumenta a absorção dos ativos permitindo uma hidratação mais profunda. A MHC é utilizada para ação mais profunda na fibra capilar e para ser mais efetivo muitas



usuárias utilizam a touca térmica, toalha quente, vapor quente por meio do secador como técnicas para potencializar a hidratação da fibra capilar. As temperaturas utilizadas nas referidas técnicas podem variar de 50 °C até 230°C. A tabela 4 apresenta os percentuais de perda da degradação da Máscara de Hidratação Capilar. Para uma temperatura até 50°C a degradação da MHC é mínima, entre 2,00 – 3,00 %. Para 100°C já se observa uma degradação considerável de 29,00 -39,00% da massa e acima de 150°C a degradação varia de 68,00 - 75,00 % da MHC.

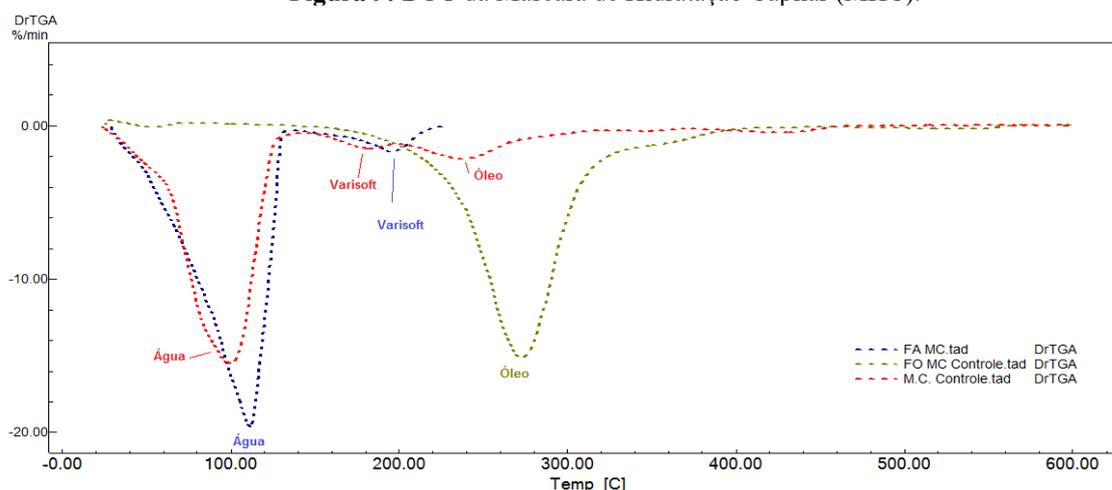
Tabela 4: Degradação das Máscaras de Hidratação Capilar pelo Analisador Termogravimétrico (TGA).

Óleo	Perda de massa (%)				
	Até 50°C	Até 100°C	Até 150°C	Até 200°C	230°C
Controle	4,00	48,30	73,00	80,00	94,00
Licuri	2,10	29,00	68,00	75,00	79,00
Pequi	2,00	35,90	71,00	77,00	80,50
Macadâmia	2,25	39,00	73,00	88,00	92,00
Baru	3,00	39,00	75,00	80,00	93,00

Fonte: Da autora, 2022.

Para melhor compreender esse perfil de degradação foi realizada uma DTG da fase oleosa e outra da fase aquosa, ambas com todos componentes que a constitui. Ao observar a sobreposição da DTG da MHC controle, e sua respectiva Fase oleosa e fase aquosa (figura 9), nota-se que a primeira degradação na DTG da MHC controle está relacionada com a fase aquosa. A Varisoft se mantém na emulsão e só degrada posteriormente numa Temperatura inicial (Ti) = 140°C, a fase oleosa só inicia sua degradação na emulsão a partir de 150°C.

Figura 9: DTG da Máscara de Hidratação Capilar (MHC).



Fonte: Da autora, 2022.

É evidente a necessidade de ter um controle da temperatura no momento da hidratação para que os componentes principais mantenham sua integridade e possam desempenhar uma função efetiva na fibra capilar. Desta forma, nota-se que para a MHC's em estudo pode-se utilizar temperaturas de até 130°C para garantir a integridade dos principais componentes desta



emulsão garantindo a manutenção da sua ação. As TG das emulsões de Máscara Capilar comparada com a MC de óleo de Licuri, seguida da MC de óleo de Pequi, degradam menos sob a ação da temperatura (Tabela 4).

As MHC's são utilizadas, principalmente para selar as escamas, hidratar, reconstruir e tratar os cabelos danificados e fornecer nutrição, força e brilho aos mesmos. Considerando a influência da temperatura na estabilidade térmica das MHC, ao utilizar técnicas à quente para se obter melhores resultados na hidratação é importante considerar que temperaturas muito altas podem degradar a MHC, impactando em um resultado contrário ao esperado. Ao invés de potencializar a hidratação, ocorrerá a redução do potencial de hidratação da MHC devido à degradação da mesma. Para as emulsões em estudo neste trabalho a temperatura máxima para usar a MHC com técnicas à quente é de no máximo 130°C.

CONCLUSÕES

O percentual de insaturações presentes na composição dos óleos utilizados e o tamanho da cadeia carbônica influenciam diretamente na degradação térmica. A escolha dos óleos de Licuri, Pequi e Baru, encontrados no semi-árido baiano para desenvolver sistemas emulsionados, amplia o potencial da aplicação funcional destes óleos. Desta maneira, pode haver o incentivo de aprimoramento do cultivo dessas espécies junto à obtenção destes óleos, refletindo positivamente nos fatores sócio-econômicos regionais.

Com a análise térmica as emulsões que continham os óleos com temperatura inicial mais elevada apresentaram menor resistência térmica. Interagindo com os componentes da fórmula, as emulsões (Condicionante e MCH de óleo de Licuri) que continham o óleo com menor temperatura inicial de degradação apresentaram a temperatura inicial de degradação mais elevada. Em contraponto, as emulsões (Condicionante e MCH de óleo de Baru) com menor temperatura inicial de degradação continham o óleo com maior temperatura inicial de degradação. Portanto, é necessário conhecer o perfil térmico do óleo puro e outros ativos bem como da emulsão para compreender a relação destes componentes no perfil térmico da emulsão. Na temperatura de preparo de 75°C, o cloreto de diestearildimetilamônio mostrou-se menos susceptível a degradação térmica que o cloreto de cetrimônio. Em geral, todas as emulsões apresentaram estabilidade da fase aquosa com a fase oleosa em temperatura ambiente de 25°C até 45°C.

Já a degradação da emulsão em relação ao potencial de hidratação capilar com auxílio de técnicas à quente demandam um controle da temperatura no momento de aplicação de



técnicas para que os componentes principais mantenham sua integridade e possam desempenhar uma função efetiva na fibra capilar.

A partir de 40°C já ocorre uma hidratação capilar mais profunda. Baseado neste estudo experimental, fica evidente que ao usar MHC é necessário utilizar temperaturas de até 100°C para auxílio de hidratação capilar, visando garantir a integridade dos principais componentes, e conseqüentemente garantir a sua ação e eficácia.

Esta pesquisa demonstrou a necessidade de estudar o perfil térmico de diversos componentes utilizados em cosméticos capilares e a real influência da temperatura quanto à produção do sistema emulsivo e da utilização dos usuários. Desta maneira, pode haver uma orientação mais segura e de qualidade quanto ao local de armazenamento e ao uso das emulsões capilares associada a técnicas a quente.

A aplicação de MHC com técnicas à quente para a hidratação do cabelo é possível, desde que se tenha um controle da temperatura durante o uso. Com as MHC's produzidas neste trabalho e o auxílio da análise de TGA e DTG, ficou evidente a viabilidade do uso das MHCs com técnicas à quente até uma temperatura de 130 °C para a hidratação capilar sem degradações térmicas consideráveis do sistema emulsivo.

Sendo assim, o emprego da análise térmica é uma ferramenta útil para analisar e caracterizar o comportamento térmico de uma emulsão capilar, orientar o uso com técnicas à quente, auxiliar no controle da produção de uma emulsão, auxiliar no controle da estabilidade da fase oleosa e da fase aquosa após a sua produção, e, definir a temperatura de condicionamento do produto final. Enfim, ser um recurso que garante a qualidade e eficácia do cosmético capilar.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, E. C. **Efeitos do óleo de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) sobre a aterogênese e o estresse oxidativo em camundongos LDL receptor knockout alimentados com dieta aterogênica.** 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica e Imunologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2010.

BOBBIO, P; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos.** 3 ed. São Paulo: Varela, 2001. 143 p.

BRASIL. Associação Brasileira de norma Técnica. **ABNT NBRISO 11036: Análise sensorial: Metodologia - Perfil de textura.** 1ªed. Rio de Janeiro, 2017. p.1-4.



BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Guia de Estabilidade de Produtos Cosméticos** / Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 1. ed. Vol 1 - Brasília: ANVISA, 2004. 52 p.

BRITTO, S. de. **Avaliação da eficiência de desemulsificantes utilizados na separação das fases de misturas de água e óleo**. 2013. 126f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímicas) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: 2013.

CARAM, R. **Estrutura e Propriedades dos Materiais**. São Paulo: Unicamp, 2000.P-45-58. Disponível em: <[HTTP://WWW.FEM.UNICAMP.BR/~CARAM/CAPITULO6.PDF](http://www.fem.unicamp.br/~caram/capitulo6.pdf)>. Acesso em: 03 nov. 2018.

CAROLINA, N P.; ARANHA, H.; AQUINO, R. . Evaluation of hair conditioners pH change by apple vinegar addition. In: CONGRESSO FARMACÊUTICO DE SÃO PAULO, 8., 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo:Centro de Convenções Frei Caneca, 2015.

CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Hidrologia**. Rio De janeiro:Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006.115p.

DICKINSON, E. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. **Rev. Food Hydrocolloids**. v. 17, p. 25-39, 2003.

FERNANDES, D. C. **Efeito da amêndoa de baru, amendoim e castanha-do-pará no perfil sérico e na peroxidação de lipídios em ratos com dieta hiperlipídica**. 2011. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos. Goiânia. 2011.

FRANÇA, L. A. F.; CARDOSO, J. C.; LIMA, C. M. Desenvolvimento de sabonete cremoso para controle do ph vaginal. **Cadernos de Graduação-Ciências Biológicas e da Saúde**. Aracaju, v. 13, n. 14, 2011.

FRITZ, M.; SOUZA, C. G. de. Inovação na indústria de cosméticos - Casos de empresas do setor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 34., 2006, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: Universidade Passo Fundo, 2006, p.66-81.

GARCIA, J.U. et al. Estudo de Estabilidade Térmica de óleos de peixes em atmosfera de nitrogênio. **Eclética Química**.São Paulo, vol.29, n.2, 2004, p.41-46. Disponível em: <[HTTP://WWW.SCIELO.BR/PDF/EQ/V29N2/22718.PDF](http://www.scielo.br/pdf/eq/v29n2/22718.pdf)> Acesso em: 30 set. 2018.

GOMES, R.J.G. et al. Extração e caracterização do óleo da amêndoa do licuri (*Syagrus coronata*).In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 32., 2009. Fortaleza. **Resumos...**Fortaleza, 2009.

KALOUSTIAN, J.; PAULI, A.M.; PASTOR, J. Chemical and thermal analysis of biopolymers in lavandin. **Journal Application Polymerics Science**, New York, v.77, n.7, p.1629-1641, 2000.

KOKAL, S. Crude Oil Emulsions: A State-of-the-Art Review. In: SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Proceedings. **Journal SPE productions e facilities**, EUA, v. 56, n.5, p. 12-27, 2005.



MARO, L.A.C. et al. Caracterização química e perfil de ácidos graxos em cultivares de noqueira-macadâmia. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.42, n.12, p.2166-2171, dez. 2012.

NORST, M. T. **Desenvolvimento tecnológico de forma farmacêutica plástica contendo extrato concentrado de Achyrocline satureioides**. Lam. DC. Compositae. (Marcela) Porto Alegre, 1991. 228p. [Dissertação de Mestrado. Faculdade de Farmácia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

OLIVEIRA, L.P. et al. Avaliação da utilização de cosméticos nos universitários do CESUMAR através da aplicação de um questionário direcionado. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA CESUMAR, 6., 2009, Maringá. **Anais...** Maringá: Centro Universitário de Maringá, 2009, p. 45-50.

OLIVEIRA, V. G. **Cabelos: uma Contextualização no Ensino de Química**. São Paulo:Unicamp, 2013.

PEREIRA, N. P. **Estudo fotoquímico do óleo da semente de camomila [Camomillarecutita(L.) Rauschert] Camomila, com avaliação de propriedades físico-químicas, biológicas e funcionais em emulsões**. 2008.192 f. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) – Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2008.

SEGOVIA, D.B.; DUTRA, W.E. **Análise térmica – Termogravimetria (TGA), Análise Térmica Diferencial (DTA), Calorimetria exploratória diferencial (DSC)**. São Paulo: Giz, 2004.

SILVA, E.C.; PAOLA, M. V R.V. de; MATOS, J. R. Análise térmica aplicada a cosmetologia. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 43, n.3, p. 347-356, jul./set. 2007.

SILVA, H.S. et al. **Determinação do pH do creme de pentear comercializado na cidade de São Luis, Maranhão**. 2013. Trabalho apresentado ao 53º Congresso Brasileiro de Química, Rio de Janeiro, 2013.

TAMBOSETTI, F. et al. **Máscaras de hidratação capilar utilizadas em um salão de Balneário Camboriú, ano 2008**. Santa Catarina: 2008. Disponível em: <<http://siaibib01.univali.br/pdf/Francieli%20Tania%20Rodrigues.pdf>> Acesso em: 28 mai. 2015.



CAPÍTULO 19

DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE EMBREAGENS DE CAMINHÕES E MÁQUINAS AGRÍCOLAS EXISTENTES NO MERCADO BRASILEIRO

Wendel Raian Gomes
Jamson Justi
Edriene Barbosa Lima Justi
Jadson Justi
Charles Campoe Martim

RESUMO

No mercado brasileiro há muitos de tipos de embreagens que variam de tamanho, modelo e formas de funcionamento. Na literatura existem poucos estudos que exponham as especificidades desse sistema mecânico/hidráulico. Logo, este estudo objetiva apresentar tipos de embreagens de caminhões e máquinas agrícolas que compõem o mercado brasileiro. Foi realizado um levantamento teórico dos tipos de embreagens de caminhões e máquinas agrícolas a fim de contribuir como mecanismo de respaldo literário para subsidiar conhecimento compilado sobre a temática em questão. Os resultados apresentados discriminam de forma concisa os tipos de embreagens para caminhões e máquinas agrícolas. Dentre os diferentes modelos existentes não há um que apresente maior número de vantagem ou desvantagem, o que ocorre é que para cada demanda, local de trabalho e carga a ser suportada, exige um tipo de embreagem que atenda às necessidades. É possível destacar que o tamanho das embreagens para caminhões e máquinas agrícolas difere de veículos leves, mas as funcionalidades se assemelham, pois o tamanho da embreagem é compatível ao tamanho do veículo, variando no comprimento e quantidade de carga que suporta transportar.

PALAVRAS-CHAVE: Tipos de embreagens; Caminhões e máquinas agrícolas; Mecânica.

INTRODUÇÃO

Nos veículos, de maneira geral, têm-se vários tipos de sistemas, tais como: (1) sistema mecânico, que é composto de motor, câmbio e diferencial; (2) sistema elétrico, de lâmpadas e painéis de instrumentos; (3) sistema pneumático, de válvulas acionadas por ar; (4) sistema eletrônico, de módulos e chicote central; (5) sistema hidráulico, de pistões de elevação tanto de lâmina “U” quanto “H”; (6) sistema de embreagem, de platô, disco de embreagem, sistema de acionamento, alavanca pedal, pedaleira, cavalete de fixação, cilindro mestre, cilindro auxiliar ou servo de embreagem, garfo de embreagem, rolamento de embreagem e mancal.

Contudo, este trabalho se refere a um sistema mecânico/hidráulico utilizado em veículos leves, pesados e também em outras máquinas, denominado sistema de embreagem. Suas variações estruturais e funcionais estão diretamente ligadas à necessidade que atende em seu desenvolvimento de trabalho. Logo, a problemática deste estudo dá-se no seguinte



questionamento: nos diferentes tipos de embreagens existentes no mercado brasileiro atualmente, o que as diferem quanto a sua aplicação e ao funcionamento?

Na literatura, faltam estudos que exponham detalhadamente diversos tipos de embreagens existentes no mercado, sejam em veículos automotores, agrícolas ou mesmo *off-road*. Por conseguinte, percebe-se a necessidade de um levantamento detalhado dos tipos de embreagens e ainda de descrições gerais.

Atualmente, no mercado brasileiro, há variedades de embreagens, cada uma com sua especificidade de função a desempenhar em determinado veículo. Existe também um amplo fornecimento de peças para reposição dos *kits* de embreagens. Para cada veículo, o fabricante exige um *kit* de embreagem correto em sua instalação, pois há diferenças nos procedimentos de trabalhos que realizam, sendo que cada tipo de trabalho a ser realizado tem um custo correspondente a esses *kits*. Este estudo apresenta o objetivo de descrever os tipos de embreagens de caminhões e máquinas agrícolas que compõem o mercado brasileiro.

CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

Para se deslocar um veículo são necessários alguns procedimentos: primeiro, gira-se a chave de ignição para o motor entrar em funcionamento, logo, outros componentes também entram em sincronismo de trabalho juntamente com o motor. Um dos principais e o mais conhecido se chama embreagem. Não é possível simplesmente entrar no veículo, dar a partida e engatar a alavanca de marcha para que possa iniciar o trabalho dos sistemas do motor com o câmbio, tem-se que acionar o pedal de embreagem (NORTON, 2013).

Quando se fala em embreagem, vem à mente o pedal de embreagem do veículo, mas, para entender o que de fato é uma embreagem e suas funções, benefício, maneira correta de se manusear, é necessário compreender seus componentes e seus processos de trabalho. A embreagem é um dispositivo de suma importância que permite acoplar e desacoplar, ou seja, liga e desliga os itens de transmissão, pois prevê uma conexão de atrito magnética, hidráulica ou até mesmo mecânica entre dois elementos; se estes fazem o movimento de rotação, então pode-se chamar de embreagem (NORTON, 2013).

A embreagem é composta de vários itens, dentre eles: platô de embreagem; disco de embreagem; sistema de acionamento; alavanca pedal; pedaleira; cavalete de fixação; cilindro mestre; cilindro auxiliar ou servo de embreagem; garfo de embreagem; rolamento de embreagem; mancal. Por sua vez, o platô é acoplado ao volante do motor que, fixado no eixo da árvore de manivela, ainda possui uma placa que pressiona o disco de embreagem que está



acoplado ao eixo piloto, deixando o disco de embreagem acoplado ou desacoplado, para fazer o movimento junto ao volante do motor (SANTOS, 2006).

Toda vez que um motor estiver em funcionamento e o conjunto de transmissão não estiver com nenhuma marcha engrenada, todo esforço será transferido para o eixo piloto e manterá o veículo estacionado. Já quando acionado o pedal de embreagem com os pés para selecionar a marcha a ser engrenada, o eixo piloto ficará sem movimento, sendo assim, o platô continuará fazendo movimento juntamente com a placa de pressão de forma a rotacionar com o motor e fazer o movimento. Já o disco de embreagem fará o movimento igual ao do câmbio, estando livre da pressão que sofre da placa de pressão (SANTOS, 2006). Shaver (1997 apud DUQUE, 2010, p. 39) esclarece que: “[...] montado diretamente ao virabrequim do motor, o volante transmite parte do torque do motor para o disco de embreagem, enquanto o restante do torque é transmitido através da estrutura do platô até o disco [...]”. Com isso, todo torque produzido pelo motor é transferido para o disco de embreagem.

A embreagem, além de ser responsável pelo acoplamento e desacoplamento do sistema de transmissão, também tem como função fazer o isolamento de vibrações causadas pelo motor por causa da combustão e inércia (DUQUE, 2005). Quando se refere à embreagem, logo se imagina veículo, mas a embreagem não se encontra somente nos veículos automotores, existem máquinas de produção de todos os tipos, nos quais se utilizam para fazer a parada do movimento, permitindo assim que o motor continue em funcionamento, tendo em vista que é o mesmo procedimento dos veículos (NORTON, 2013).

Em embreagem de caminhões pesados e máquinas agrícolas, todo o sistema de embreagem é mais pesado no sentido de ter uma maior pressão exercida sobre a placa de pressão, resultando em uma força maior a ser exercida no pedal para que seja feita a liberação do sistema de transmissão. No sistema de acionamento hidráulico, possui o auxílio pneumático em alguns veículos, uma multiplicação de possibilidades de força, porém, existe uma desvantagem. Essa desvantagem ocorre quando há o desgaste natural da embreagem e o cilindro auxiliar esteja no seu limite de curso para que possa ser feita a abertura. Logo, como a força aplicada é grande, permite-se que haja pontos de vazamento de fluido danificando e impossibilitando o atrito, tendo que ser realizada a substituição completa dos componentes (SANTOS, 2006).

Em geral, quando se questiona sobre problemas nas embreagens, o desconhecimento é generalizado e o maior causador deles é a aplicação incorreta dos sistemas e sujeira. É válido



mencionar que na fabricação de embreagens se realizam procedimentos indispensáveis de cálculos para mensuração de qualidade a fim de se conquistar um produto de ampla relevância. Para cada fator de serviço, há uma especificação correta do tipo de embreagem a ser instalada e, para ter durabilidade em seu sistema, têm que ser realizados um levantamento e análise das condições de trabalho e qual forma será utilizada e aplicada. A instalação incorreta resulta um superaquecimento pelas diferenças de rotação motor/câmbio, fazendo com que o atrito se transforme em calor; entretanto, cada tipo de piso, esforço e carga influencia na vida útil da embreagem (HD EMBREAGENS, 2016).

Todo sistema de embreagem é instalado dentro de uma carcaça chamada de capa seca, cujo nome remete à noção de sua função. Essa carcaça impossibilita a penetração de qualquer tipo de sujeira, como terra, areia, água ou algo que possa danificar o conjunto de embreagens, tendo em vista que dentro dessa carcaça há produção de calor, por causa do contato das superfícies. Desta forma, o resfriamento acontece de forma indireta e utiliza o ar produzido dentro da carcaça pelo giro do motor, fazendo o resfriamento (HD EMBREAGENS, 2016).

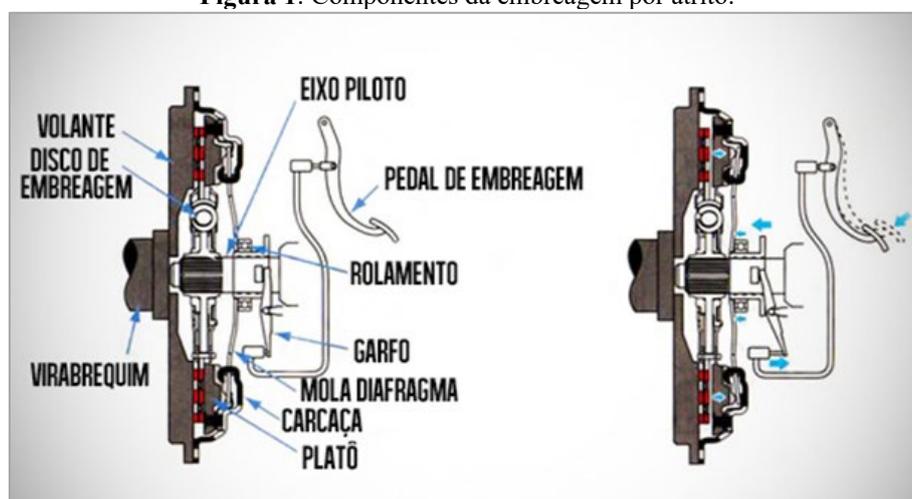
Quanto aos tipos de embreagens, hoje, no mercado brasileiro, existe uma ampla variedade de embreagens para caminhões rodoviários/fora de estrada, como também para máquinas agrícolas. Os tipos de modelos de embreagens para caminhões, segundo a montadora Eaton (2012), são: a) embreagens 395 mm Push de disco simples com acionamento do tipo de empurrar; b) embreagem 395 mm de disco simples com acionamento do tipo de puxar; c) embreagem 430 mm HD de disco simples com acionamento do tipo de puxar; e d) embreagem 365 mm de disco duplo com acionamento do tipo de puxar.

A empresa Luk expõe os modelos de embreagens para máquinas agrícolas que são utilizados (SCHAEFFLER BRASIL, 2014). Porém, para alguns modelos de máquinas, é utilizado o mesmo modelo de platô, ficando a diferença somente nos discos de embreagem e tomada de força. Assim, os modelos de embreagens e de platôs para máquinas agrícolas disponibilizados pela empresa em questão são: a) embreagem simples padrão de mola membrana do tipo de acionamento de empurrar; b) embreagem dupla padrão de mola helicoidais com 3 ou 6 alavancas do tipo de acionamento de empurrar; c) embreagem dupla com Safety-PTO (embreagem de segurança) com 3 ou 6 alavancas de acionamento do tipo empurrar; d) platô simples de mola membrana do tipo de empurrar; e) platô simples de molas helicoidais e alavancas com 3 ou 6. Já os modelos de discos disponibilizados pela mesma empresa são: a) disco de embreagem principal e disco de embreagem (PTO); e b) discos cerâmicos rígidos.



A embreagem por atrito é um dos tipos de modelo de embreagem mecânica que são muito utilizados em caminhões rodoviários/fora de estrada. Embreagem de caminhões é um assunto muito discutido entre os profissionais que trabalham com esses veículos. Essas discussões se baseiam em vida útil, modelo correto de instalação e vibrações. A embreagem por atrito é a mais conhecida e utilizada amplamente no mercado brasileiro, pois contém duas ou mais superfícies planas ou perpendiculares em relação ao eixo de rotação que são pressionadas entre si por meio de uma força normal, criando um torque de atrito. Pelo menos uma dessas superfícies é metálica (ferro fundido ou aço) (NORTON, 2013). A Figura 1 apresenta o esquema de como é montada a embreagem por atrito.

Figura 1: Componentes da embreagem por atrito.



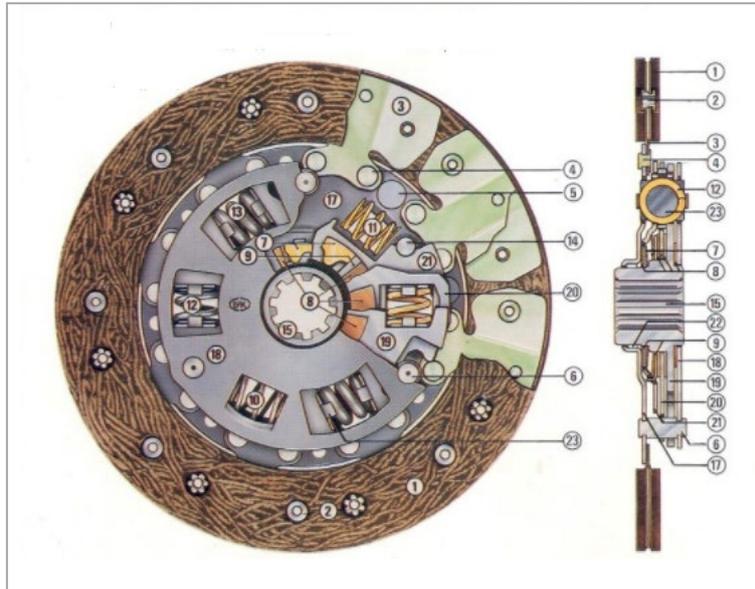
Fonte: Culturamix (2017).

A embreagem a disco consiste em dois discos que são forrados por um material de alto atrito, denominado de fibra de asbesto, mais conhecido como amianto. Esse material foi durante muito tempo o ingrediente mais comum em forrações de embreagens, mas não é mais usado em muitas aplicações por causa do risco causado pelo fato de ser cancerígeno (NORTON, 2013).

A Figura 2 mostra um modelo de disco de embreagem. Contudo, a nomenclatura de cada componente do disco de embreagem por atrito apresenta-se de 1 a 23, a saber: 1) revestimento; 2) rebite do revestimento; 3) mola segmento; 4) rebite da mola segmento; 5) rebite de balanceamento; 6) pino distanciador; 7) mola membrana, mola disco; 8) anel de atrito; 9) disco de apoio; 10) mola do pré-amortecedor (1º estágio); 11) mola do pré-amortecedor (2º estágio); 12) mola do amortecedor principal (1º estágio); 13) mola do amortecedor principal, (2º estágio); 14) rebite distanciador; 15) cubo; 16) cubo interno; 17) disco de arraste; 18) contradisco; 19) flange do cubo; 20) disco de comando de atrito; 21) flange interna; 22) bucha centralizadora; 23) apoio das molas.



Figura 2: Disco de embreagem.



Fonte: Carros Infoco (2015).

As embreagens, atualmente, utilizam materiais como: 1) fibra de vidro; 2) fios de cobre; 3) cerâmica; 4) material de papel; e 5) carbono, e tem funcionalidade de atrito de contato entre duas superfícies, que produzem entre si calor por causa do contato, e esse calor é um dos fatores que influenciam diretamente na vida útil de seus componentes. Há estudos que são realizados para dimensionar os componentes conforme os requisitos de torque do motor, vibrações e até a carga que ela suporta em transferir para a caixa de transmissão. A embreagem por atrito entre duas superfícies pode ser vista na Figura 3, na qual se atrela ao contato de duas superfícies que produzam um calor que pode vir a causar possíveis danos.

Figura 3: Kit de embreagem danificado por superaquecimento.



Fonte: Valeo Service (2017).

Geralmente, para a configuração rodoviária, os caminhões utilizam modelos de



embreagem de monodisco. Porém, aqueles que transportam cargas muito pesadas, a configuração do modelo de embreagem modifica, tratando de uma embreagem bidisco que é usada em veículos fora de estrada (*off-road*), pela exigência que o trem de força necessita. Dentre esses parâmetros de configuração, basicamente possuem dois modelos de platô para esses veículos: o sistema de acionamento de puxar e empurrar.

As Figuras 4.a e 4.b representam modelo de embreagem de disco simples muito utilizado em caminhões com motores de 220 cv a 320 cv de potência, que suportam um torque até 1.300 N.m.

Na Figura 4.a, o tipo de acionamento chamado de “empurrar” seria um exemplo de “vai e vem”, isso se dá por estar o rolamento acoplado frontalmente ao garfo. Quando acionado o pedal de embreagem, o garfo pressiona o rolamento contra a mola membrana de forma a realizar a liberação da placa de pressão que está sobre o disco de embreagem. Ao retirar o pé do pedal de embreagem, automaticamente a pressão da mola membrana irá jogar o rolamento para trás, voltando a pressionar o disco de embreagem.

Na Figura 4.b, no tipo de acionamento chamado de “puxar”, as rodantes da ponta do garfo de embreagem ficam por trás do rolamento, fazendo com que, toda vez que o pedal de embreagem for acionado, o garfo fará o trabalho de expulsar o rolamento para fora com o sentido de “dentro para fora” do platô. Ao contrário do acionamento de empurrar, o acionamento de puxar fará o inverso, “puxando” a mola membrana para fora, fazendo com que a placa de pressão libere o disco de embreagem. Ao retirar o pé do pedal de embreagem rapidamente, a mola membrana pressiona a placa de pressão contra o disco de embreagem. Já para veículos que transportam pesos excessivos, são utilizados modelos de embreagens, conforme mostradas nas Figuras 4.c e 4.d.

A Figura 4.c representa um modelo de embreagem de veículos pesados e extrapesados, desenvolvido especialmente para veículos a partir de 320cv de potência com torque de até 2.500 N.m. Também pode-se utilizar sistema de acionamento do tipo puxar, como mencionado na descrição da Figura 4.b.

Na Figura 4.d tem-se a representação de um sistema de embreagem de bidisco que também é utilizado em caminhões rodoviários/fora de estrada.



Figura 4: Modelos de embreagens.



4.a) Modelo de embreagem 395 mm monodisco do tipo empurrar

4.b) Modelo de embreagem 395 mm monodisco do tipo puxar



4.c) Modelo de embreagem 430 mm monodisco do tipo puxar



4.d) Modelo de embreagem 365 mm bidisco do tipo puxar

Fonte: Eaton (2012).

Embreagens por atrito também são um dos sistemas mecânicos muito utilizados em máquinas agrícolas cujo objetivo é transferir o torque que é produzido pelo motor para os demais componentes da máquina. Essa mesma situação acontece na embreagem mono e bidisco em máquinas de pequeno porte, já que para esses modelos se utiliza embreagem com um disco apenas. Já em máquinas de portes maiores, que possuem uma saída de tomada de força para implementos agrícolas, tais como: perfurador de solo; roçadeiras; pulverizadores; semeadores são utilizados o modelo de embreagem bidisco. Por mais que seja fixado na árvore manivela, cada disco tem seu cubo de entalhado com tamanhos e estrias de encaixe individuais, fazendo com que o disco primário fique responsável pela caixa de transmissão no intuito de tracionar a máquina. Já o disco secundário é responsável pela tomada de força de implementos quando instalados (USINA DE ASFALTO..., 2012). Em sequência, apresentam-se as Figuras 5.a e 5.b nas quais é possível ver modelos de disco de embreagens que são instalados em máquinas agrícolas.

Para esses modelos de disco de embreagens são instalados a fibra de asbesto ou amianto. Na Figura 5.a é possível visualizar que não há um sistema de amortecimento que impede



possíveis vibrações causadas pelo funcionamento do motor, mas com estudos e testes foi desenvolvido outro modelo de disco de embreagem para máquinas como demonstrado na Figura 5.b. Para esses modelos, existe um sistema de amortecimento para auxiliar no desempenho logo acima do cubo de entalhado.

Figura 5: Modelo de disco de embreagem para máquinas.



5.a) Modelo de disco de embreagem para máquinas sem sistema de amortecimento

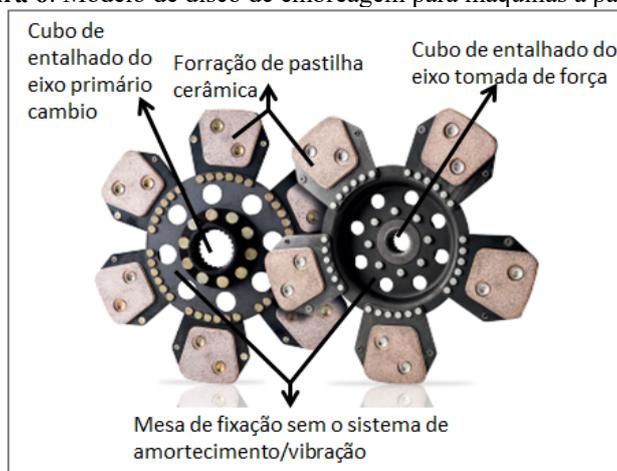
5.b) Modelo de disco de embreagem para máquinas com sistema de amortecimento

Fonte: Eaton (2014).

Conforme a Figura 6, a forração de pastilha é fabricada a partir da matéria-prima de cerâmica, capaz de suportar altas temperaturas e trabalhos extremos dando um melhor rendimento e resultado ao trabalho executado pela máquina. Nota-se que no trabalho não há sistema de amortecimento, tendo em vista que todo o torque é transmitido para a caixa de câmbio/trem de força, sendo aproveitado totalmente, exigindo assim um maior cuidado do operador, tanto nas trocas de marchas quando no manuseio correto.

Nos sistemas de platôs, existem alguns modelos que possuem abertura de mola membrana, e outros com acionamento de 3 ou 6 alavancas.

Figura 6: Modelo de disco de embreagem para máquinas à pastilha.



Fonte: Eaton (2014).

Na Figura 7.a são exibidos dois tipos de sistemas de mola membrana, interna e externa,

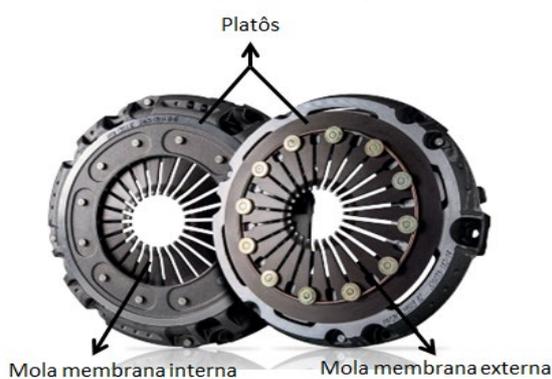


e nelas o tipo de acionamento é de “empurrar”. Os platôs têm a mesma funcionalidade. Há modelos de platôs com 3 ou 6 alavancas de acionamento, sendo elas externas ou internas, e com o sistema de acionamento do tipo empurrar (Figura 7.b). Esses dois modelos de platôs, representados pelas Figuras 7.a e 7.b, são usadas em máquinas de pequeno e médio porte.

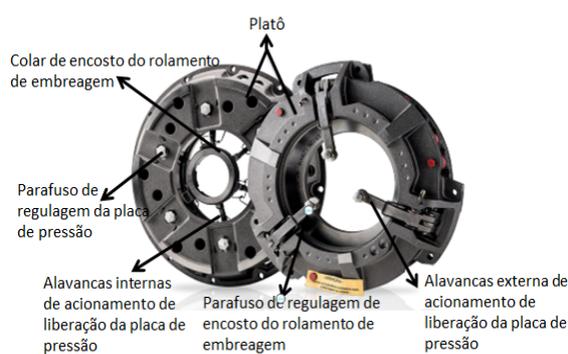
Na Figura 7.b, os platôs foram desenvolvidos especificamente para máquinas que não possuem o equipamento de tomada de força, que utilizam implementos. Na Figura 7.c, exemplifica-se um modelo de platô que é utilizado em máquinas que possuem o equipamento de tomada de força. Esses veículos exigem um platô mais resistente e robusto, contudo possuem dois discos de embreagem que são acoplados juntamente com o volante do motor. Esse modelo de platô utiliza o sistema de acionamento do tipo empurrar.

A Figura 7.d retrata um modelo de platô que é utilizado em máquinas de grande ou pequeno porte. Esses platôs possuem um duplo acionamento independente com rolamento de embreagem duplo, ou seja, para ligar ou desligar a tomada de força não necessita realizar o acionamento com o pé pressionando o pedal de embreagem. Para essas versões de máquinas existe uma alavanca acoplada junto ao painel que permite ser acionada com as mãos sem que impeça o trabalho de movimento do eixo primário do câmbio. Para um disco, são utilizadas 3 alavancas de acionamento e, para um duplo acionamento, 6 alavancas para realizar abertura da placa de pressão.

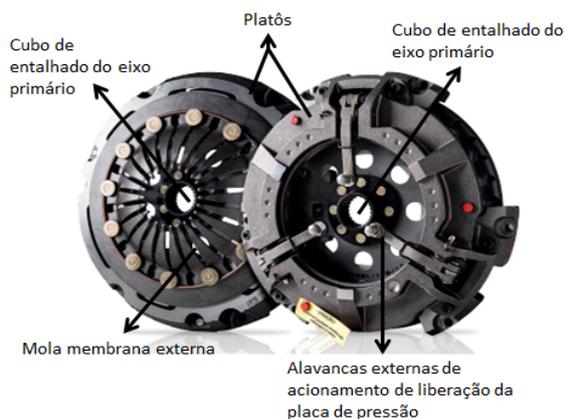
Figura 7: Modelos de discos de embreagens.



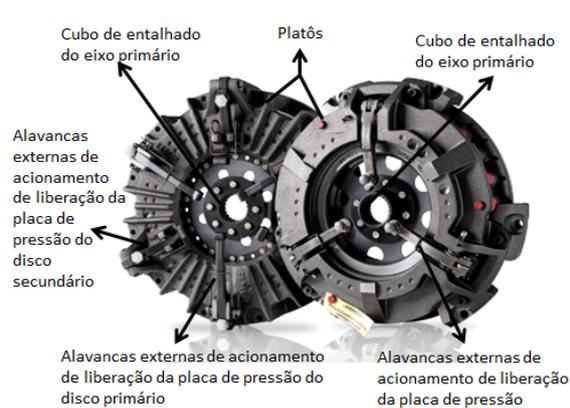
7.a) Modelo de disco de embreagem com mola membrana do tipo empurrar para máquinas



7.b) Modelo de disco de embreagem com alavancas para máquinas



7.c) Modelo de disco de embreagem com mola membrana e alavancas para máquinas



7.d) Modelo de disco de embreagem de 3 e 6 alavancas para máquinas

Fonte: Eaton (2014).

Vantagens e desvantagens dos tipos de embreagens:

a) por atrito: para embreagens do tipo por atrito, por um lado, seu tempo de resposta é mais rápido que as demais, custam menos e a manutenção de reparo/troca é mais rápida; por outro lado, quando há sobrecarga, ocorre obstrução de funcionamento fazendo com que o motor desligue.

b) empurrada: nas embreagens por atrito contendo o acionamento do tipo empurrar como exemplo o platô da Figura 4.a, o rolamento utilizado para fazer a liberação é mais simplificado (SHAVER, 1997). O procedimento de desmontagem e montagem do sistema de embreagem não exige muito trabalho, tornando-se mais fácil, só que traz consigo uma desvantagem: no decorrer do tempo de trabalho há deformação da carcaça do platô danificando a mola membrana de acionamento de liberação e o rolamento de embreagem sofre um desgaste muito maior.

c) puxada: para embreagens com a configuração do tipo de acionamento de puxar, a deformação da carcaça do platô durante o desacoplamento é menor, o rolamento de embreagem não sofre cargas excessivas. Logo, por um lado, quando acionado, pode aplicar maior força à placa de pressão do platô, e, por outro lado, o sistema do rolamento de embreagem torna-se mais complexo, dificultoso na hora de remoção e instalação da caixa de câmbio.

d) hidráulica: os modelos de máquinas que utilizam o sistema de conversor de torque permitem que a máquina inicie e pare sem a ação de algum sistema mecânico; faz a máquina ficar engatada na marcha certa de trabalho, só sendo feita a reversão do modo “frente/ré”. Se a máquina realizar esforço maior do que ela suporta estando engatada, acelerando-a de forma que não deslize as rodas, isso significa que a transmissão está com problemas. Diferente das embreagens mecânicas, seu custo de reposição de peças e manutenção se torna mais cara e demorada, por exigir um cuidado a mais para execução do reparo. Para que não ocorram futuras manutenções corretivas devem ser realizadas as trocas de óleo como o fabricante sugere. É



válido mencionar, também, que conversores de torque são capazes de multiplicar o torque do motor de duas a três vezes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As especificações apresentadas ao longo deste trabalho, de cada tipo de embreagem, permitem compreender cada modelo, seu funcionamento, seus componentes e aplicações. Nas embreagens encontradas e descritas é possível destacar que o tamanho para caminhões/máquinas agrícolas difere de veículos leves, mas as funcionalidades se assemelham, pois o tamanho da embreagem é compatível ao tamanho do veículo, variando no comprimento e quantidade de carga que suportará transportar.

As embreagens por atrito possuem uma resposta imediata em relação aos outros tipos de embreagem existentes no mercado. Nas embreagens hidráulicas, conversores de torque, a resposta não é tão imediata; entretanto, o torque que o motor transmite para o conversor faz com que a força de resposta seja maior. Desde a forma de manuseio para acionamento da embreagem com os pés até a instalação resulta por si na influência direta na durabilidade de seus componentes. Levando em consideração o desgaste natural dos componentes, se o motorista/operador ficar com o pé apoiado sobre o pedal de embreagem – por mais que não esteja pisando totalmente o pedal – causará desgaste prematuro e superaquecimento na placa de pressão com o disco de embreagem.

Conforme a literatura exposta ao longo deste estudo, é possível afirmar que não há um modelo de embreagem que tenha mais vantagem do que outra. Suas funcionalidades são semelhantes no modo de acoplamento e desacoplamento. Entretanto, a configuração de embreagem a ser usada depende do trabalho a ser desempenhado, levando em consideração alguns fatores, como: se irão suportar grandes ou pequenas cargas; se o local de trabalho é em rodovias ou fora de estradas; e qual a demanda exigida no trabalho. Contudo, espera-se que este estudo contribua para o conhecimento do leitor, bem como esclarecer aos proprietários de veículos e outros interessados quanto ao uso proveitoso desse sistema mecânico/hidráulico denominado embreagem.

REFERÊNCIAS

CARROS INFOCO. *Funcionamento e embreagens para sistemas de transmissão automotivos*. [S.l.], 2015.



CULTURAMIX. *Por que a embreagem faz barulho?* [S.l.], 2017. Disponível em: <https://autos.culturamix.com/mecanica/por-que-a-embreagem-faz-barulho>. Acesso em: 14 jul. 2022.

DUQUE, E. L. *Desenvolvimento de um modelo de simulação do acoplamento da embreagem durante a partida do veículo*. Orientador: Agenor de Toledo Fleury. 2010. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2010. Disponível em: <https://repositorio.fei.edu.br/bitstream/FEI/635/2/fulltext.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2022.

DUQUE, E. L. *Efeito das vibrações torcionais do volante de motores na determinação do sistema de embreagem veicular*. Orientador: Ronaldo de Breyne Salvagni. 2005. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3149/tde-08122005-132842/publico/Dissertacao_Mestrado-Revisada-09-Nov-05.pdf. Acesso em: 14 jul. 2022.

EATON. *Catálogo de embreagem agrícola: alto desempenho, maior produtividade*. Valinhos, 2014. Disponível em: http://www.eaton.com.br/ecm/groups/public/@pub/@eatonbr/documents/content/pct_1195932.pdf. Acesso em: 14 jul. 2022.

EATON. *Catálogo geral de embreagem: caminhões e ônibus*. Valinhos, 2012. Disponível em: http://www.eaton.com.br/ecm/groups/public/@pub/@eatonbr/documents/content/pct_1195933.pdf. Acesso em: 14 jul. 2022.

HD EMBREAGENS. *Condições de operação*. Ponta Grossa, 2013.

SCHAEFFLER BRASIL. LuK RepSet Pro. Sorocaba: Schaeffler Brasil, 2014. Disponível em: <https://aftermarket.schaeffler.com.br/pt-br/luk-repset-pro>. Acesso em: 14 jul. 2022.

NORTON, R. L. *Projeto de máquinas: uma abordagem integrada*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

SANTOS, W. A. *Sistema de acionamento de embreagem hidráulico para caminhões leves*. Orientador: Álvaro Costa Neto. 2006. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) – Universidade de São Paulo, São Bernardo do Campo, 2006. Disponível em: http://automotiva-poliusp.org.br/wp-content/uploads/2013/02/wagner_santos.pdf. Acesso em: 14 jul. 2022.

SHAVER, R. *Manual transmission clutch systems*. Warrendale: SAE International, 1997.

USINA DE ASFALTO: soluções que otimizam o processo. *Manutenção & Tecnologia*, Água Branca, n. 154, p. 14-21, 2012. Disponível em: <https://revistamt.com.br/Edicoes/Visualizar?IDEdicao=154>. Acesso em: 14 jul. 2022.

VALEO SERVICE. *Diagnostico de avarias*. [S.l.], 2017. Disponível em: <https://docplayer.com.br/16469436-I-diagnostico-de-avarias.html>. Acesso em: 14 jul. 2022.



CAPÍTULO 20

DETERMINAÇÃO ELETROANALÍTICA DE VITAMINA C EM AMOSTRAS FARMACÊUTICAS E AMBIENTAIS UTILIZANDO ELETRODOS DE BAIXO CUSTO

Jainara da Silva Costa
Rayza Borba de Lima
Quésia Guedes da Silva Castilho

RESUMO

A Vitamina C, conhecida como ácido ascórbico, é uma vitamina bastante solúvel em água e está presente, naturalmente, na maioria dos alimentos, podendo ser adicionada a outros e disponível como suplemento dietético. Com o surgimento do COVID-19, o uso da Vitamina C e suplementos na alimentação aumentaram. A falta do consumo de vitamina pode causar diversos problemas de saúde, como por exemplo, o escorbuto. Com isso, o presente trabalho busca determinar o Ácido Ascórbico (AA) construindo um Eletrodo Compósito de Grafite (ECG) de baixo custo e fácil construção para a determinação do analito em amostras farmacêuticas e ambientais. Com isso, serão realizados estudos na técnica de Voltametria Cíclica (VC) para o reconhecimento do perfil oxidativo do AA presente na solução de AA $1,0 \times 10^{-3} \text{ molL}^{-1}$. Utilizou-se o ECG 80%/20%, onde obteve-se melhor densidade de pico, sendo este selecionado para estudos futuros. O eletrólito utilizado é o tampão acetato, na concentração de $0,10 \text{ molL}^{-1}$ e pH 5, onde encontrou-se resultados mais satisfatórios para a realização dos estudos, com velocidade de varredura de 50 mVs^{-1} na técnica de VC. Nos parâmetros em VOQ, os valores que favoreceram o potencial de oxidação do AA foram com a amplitude (α) igual a 50 mV, frequência (F) igual a 50 Hz e o incremento (ΔE) de 8 mV. Na construção das curvas analíticas com ECG, obteve-se um coeficiente de correlação de 0,98787, com LD e LQ de $2,2 \times 10^{-6} \text{ molL}^{-1}$ e $7,3 \times 10^{-5} \text{ molL}^{-1}$, respectivamente. Em ambas as amostras, ao determinar o AA, encontrou-se uma concentração de $2,91 \times 10^{-5} \text{ molL}^{-1}$, valor semelhante ao teórico, trazendo assim um resultado satisfatório na determinação de AA em amostras farmacêuticas e ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Ácido ascórbico. COVID-19. Vitaminas. Voltametria.

INTRODUÇÃO

Com o aumento da pandemia no Brasil, procurou-se diferentes formas para a prevenção do COVID-19. Com isso, observa-se que houve um grande aumento na inserção de vitaminas e nutrientes na alimentação, como por exemplo, o uso da vitamina C (MENDES, et al., 2020). As vitaminas são um grupo de compostos orgânicos, formados por diversas funções orgânicas e encontradas em pequenas proporções nos alimentos, sendo responsáveis por inúmeras funções no nosso organismo (DALA-PAULA, 2021).



A falta de Vitamina C pode causar vários problemas de saúde, como por exemplo, o escorbuto que provoca gengivas inchadas e com sangramentos, dentes fracos, sangramentos dos vasos sanguíneos e cicatrização lenta, podendo comprometer o bom funcionamento de vários órgãos. O escorbuto pode ocorrer tanto em pessoas idosas como em jovens, que preferem uma alimentação com produtos industrializados e enlatados, onde estes apresentam um baixo valor nutritivo (FIORUCCI; SOARES; CAVALHEIRO, 2003).

O nome da vitamina C, ácido ascórbico, representa duas de suas propriedades: uma química e outra biológica, pode ser encontrado naturalmente em vários alimentos e em produtos industrializados que adicionam vitamina C ao seu conteúdo, como o caso de alguns cereais ou sucos de frutas e através da suplementação com comprimidos. Sugere-se um consumo diário de cerca de 90mg de vitamina C para os homens e 75mg para as mulheres. Está presente em todas as plantas, mas em quantidades variadas. Temos como exemplo de algumas fontes de Vitamina C o pimentão doce, acerola, salsa, couve-flor, batatas, morangos, brócolis, batatas doces, pitanga, goiaba e manga.

Os métodos eletroanalíticos que se baseiam na medição da corrente em função do potencial aplicado é chamado de voltametria. Esses métodos usam condições que conduzem à polarização do eletrodo de trabalho. Com isso, a voltametria consiste na medida da corrente em uma célula eletroquímica sob condições de completa polarização de concentração, na qual a velocidade de oxidação ou redução do analito é limitada pela velocidade de transferência de massa do analito para a superfície do eletrodo, o potencial e a corrente resultante são registrados simultaneamente. A curva corrente vs. potencial obtida é chamada de voltamograma. Uma célula eletroquímica é composta por três eletrodos, sendo um deles o eletrodo de trabalho, cada um é imerso em uma solução eletrolítica, o eletrólito. Na maioria das células as soluções nas quais os eletrodos estão imersos são diferentes e precisam ser mantidas separadas para evitar a reação direta entre os reagentes (SKOOG et al, 2006).

Dessa forma, das mais variadas técnicas eletroanalíticas, podemos destacar a Voltametria Cíclica (VC), Voltametria de Pulso Diferencial (VPD) e Voltametria de Onda Quadrada (VOQ). Com o auxílio destas técnicas, será utilizado neste trabalho o Eletrodo Compósito de Grafite (ECG), onde a utilização de eletrodos a base de carbono (grafite) se tornou muito importante na eletroanalítica (SANTOS, 2007).

Com tudo, este trabalho apresenta o estudo do AA em solução a partir de um eletrodo de pó de grafite e silicone, intensificando o aumento da sensibilidade do método das análises



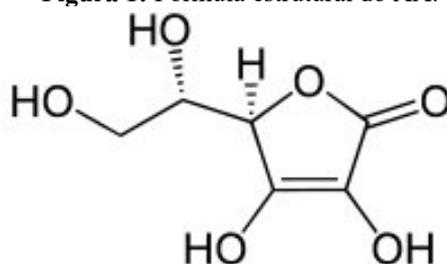
efetuadas por VC e VOQ, para a determinação eletroanalítica da Vitamina C em amostras farmacêuticas e ambientais utilizando um eletrodo de fácil construção e baixo custo.

REFERENCIAL TEÓRICO

A molécula de AA pode apresentar alguns isômeros ópticos, como por exemplo o ácido D-ascórbico (diferenciando a posição dos ligantes do C-5) e do ácido L-isoascórbico (na posição dos ligantes do C-4), que apesar de serem “quimicamente” semelhantes ao AA, não apresentam valor nutricional de vitamina C, embora sejam empregados como ingredientes alimentares (em especial em produtos cárneos, durante o processo de cura a fim de evitar a formação excessiva de nitrosaminas e em vegetais para reduzir o escurecimento enzimático), devido às suas propriedades de redução e antioxidante (DALA-PAULA, 2021).

A transformação do AA em ácido deidroascórbico ocorre normalmente no interior do organismo e é reversível, permitindo que uma de suas substâncias possa sempre ser transformada na outra. Na Figura 1 pode ser observado a sua fórmula estrutural.

Figura 1: Fórmula estrutural do AA.



Fonte: <https://www.infoescola.com/bioquimica/vitamina-c/>. Acesso em: 14/07/2022.

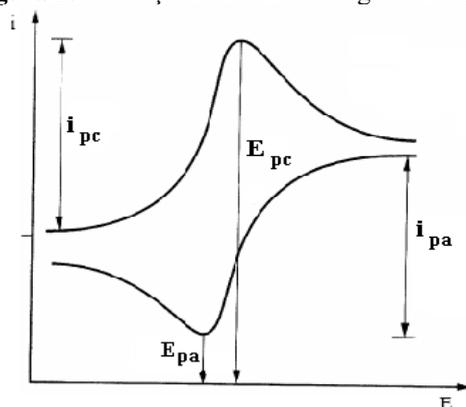
Partindo para os sensores eletroquímicos, são dispositivos que permitem a coleta de dados e obtenção de informações com manipulação mínima do sistema estudado. Desta forma, os resultados obtidos podem ser analisados e correlacionados com outros parâmetros no ambiente em que estão inseridos. Estes dispositivos possuem características peculiares que os distinguem de métodos instrumentais de largo porte, os quais, por sua vez, são cada vez mais precisos, sensíveis e seletivos, mas não permitem a obtenção de informações in situ e em tempo real.

Dessa forma, com as mais variadas técnicas eletroanalíticas, podemos destacar a Voltametria Cíclica (VC) e Voltametria de Onda Quadrada (VOQ), técnicas que serão empregadas sob os sensores utilizados neste trabalho. A VC é bastante empregada para a obtenção sobre o perfil oxidativo do analito, ela tem uma aplicação nos estudos de reações redox, na detecção de intermediários de reação e na observação e em reações envolvendo produtos formados nos eletrodos. A varredura de potencial é feita em uma direção e, em



seguida, na outra, enquanto é feita a medida da corrente. Um experimento utilizando esta técnica pode empregar um ciclo total, um ciclo parcial ou até mesmo vários ciclos. Durante a varredura em VC, a resposta de corrente de um eletrodo em uma solução mantida em repouso é excitada na forma de uma onda triangular, podendo acontecer no sentido direto ou inverso, (SKOOG et al, 2006). Na Figura 2 mostra um voltamograma cíclico, onde é visto o pico catódico (E_{pc}), potencial de pico anódico (E_{pa}), a corrente de pico catódica (I_{pc}) e a corrente de pico anódica (I_{pa}).

Figura 2: Ilustração de um voltamograma cíclico.



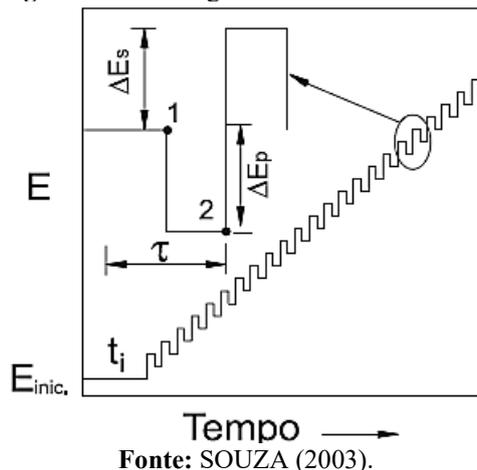
Fonte: TICIANELLI, E.A.; GONZALEZ, E. R. (2005).

Já a técnica de VOQ é usada para realizar-se experimentos de um modo bem mais rápido e eficiente, obtendo informações quantitativas do analito em estudo, com sensibilidade maior comparada a VC, pois ocorre compensações da corrente capacitiva. Um experimento básico leva-se segundos para ser realizado.

Na Figura 3 pode ser observada a programação de potencial vs tempo usada na técnica, onde uma onda quadrada simétrica é sobreposta em uma rampa de potencial em forma de degraus de modo que o pulso direto da onda quadrada coincida com o início do degrau da rampa. O pulso reverso por sua vez coincide com a metade da etapa da rampa em degraus. Os parâmetros de tempo e potencial é aplicado, onde τ é o tempo de um ciclo de onda quadrada e também de um ciclo da rampa em degraus. A frequência da onda quadrada medida em Hz é $1/\tau$. E_{sw} é a amplitude do pulso de onda quadrada em mV.



Figura 3: Voltamograma da técnica de VOQ.



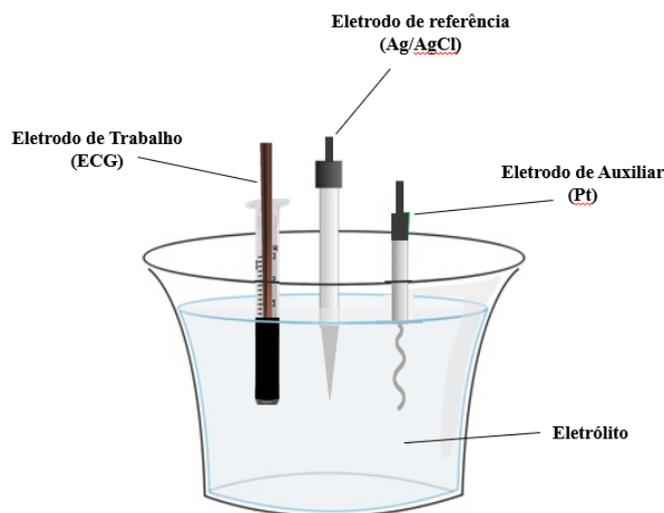
Fonte: SOUZA (2003).

METODOLOGIA

Os reagentes utilizados nas análises foram de grau analíticos, a água utilizada na preparação das soluções foi deionizada em um deionizador da marca Spencer®. Nos estudos de otimização do eletrodo utilizou-se a solução de AA (Merck®) $0,01 \text{ molL}^{-1}$, que foi preparada diariamente dissolvendo-se $0,0052 \text{ g}$ deste composto em 30 mL de água.

Na célula eletroquímica foi utilizado os sensores artesanais, Figura 4, tais como o eletrodo de trabalho (ECG), o eletrodo auxiliar (Pt), que fecha o circuito e gera a diferença de potencial atuante no eletrodo de trabalho e no eletrodo de referência de prata cloreto de prata (Ag/AgCl), usado como referência para a aplicação do potencial sobre o eletrodo de trabalho.

Figura 4: Esquema ilustrativo da célula eletroquímica utilizada para as análises.



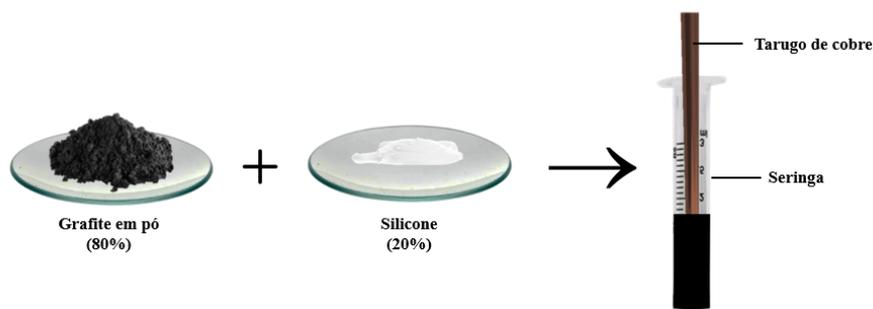
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O Eletrodo Compósito de Grafite (ECG) foi construído utilizando grafite em pó (Aldric®) e borracha de silicone comercial (Polystic®), onde o silicone empregado age como agente aglutinante no composto que funciona como selante. O eletrodo composto continha



500 mg, este foi preparado homogeneizando-se proporções de 80% de grafite e 20% de silicone, o esquema do eletrodo é apresentado na Figura 5.

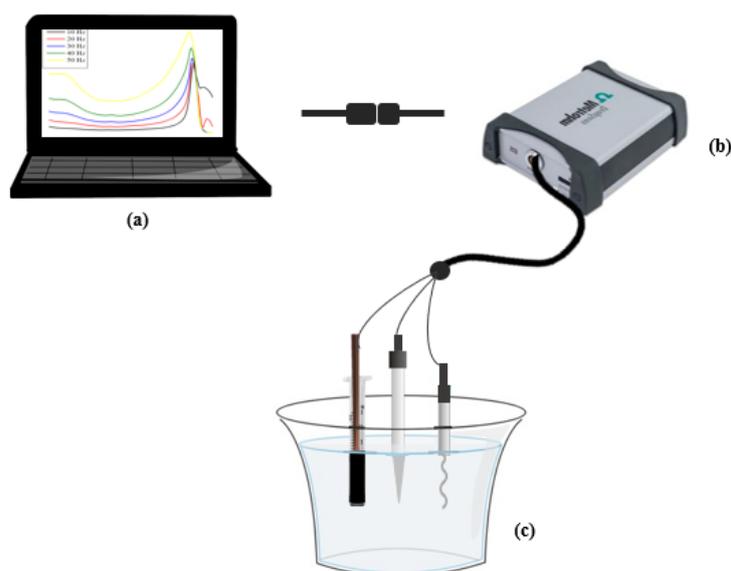
Figura 5: Esquema ilustrativo do preparo do Eletrodo Compósito de Grafite.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Nas medidas eletroquímicas os equipamentos utilizados foram um mini-potenciostato/galvanostato, marca Ω Metrohm modelo PSTAT 910, conectado a um Notebook gerenciado a um programa computacional PSTAT software 1.1 de acordo com a representação esquemática na Figura 6. Antes de cada medida, a solução eletrolítica foi homogeneizada com um agitador magnético marca Quimis ISO 9001 por cerca de um minuto em seguida o eletrodo foi submetido a 10 ciclos em voltametria cíclica para sua limpeza e para eliminação de possíveis interferências nas curvas corrente-potencial. Após as análises, os dados e os voltamogramas obtidos foram tratados no software Origin 8.0 PRO.

Figura 6: Esquema ilustrativo do sistema eletroquímico miniaturizado utilizado nas análises. Em (a) notebook, (b) mini-potenciostato/galvanostato e (c) célula eletroquímica.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

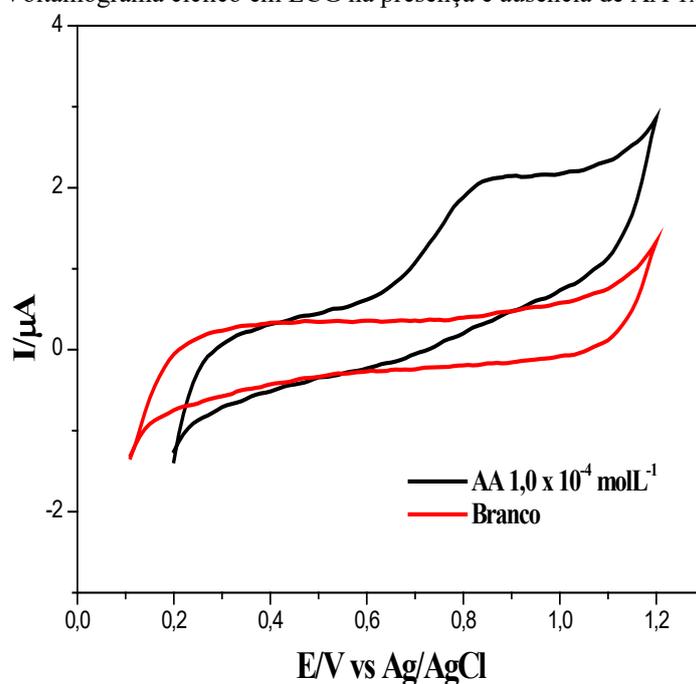


RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, na técnica de VC realizou-se estudos a fim de otimizar os melhores parâmetros qualitativos que fazem parte da técnica, dentre estes parâmetros estudados estão o estudo do eletrólito suporte, estudo da concentração do eletrólito suporte, estudo da velocidade de varredura e pH.

Para a observação do comportamento voltamétrico do ECG na presença e na ausência de AA em concentração de $1 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$ foram realizadas análises sobre o eletrodo em solução. Na Figura 7, observa-se o pico de oxidação no intervalo de potencial entre 0,7 V e 0,9 V vs Ag/AgCl, sendo um processo irreversível, já que o pico de oxidação ocorre apenas no sentido direto da reação eletroquímica.

Figura 7: Voltamograma cíclico em ECG na presença e ausência de AA $1 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$.

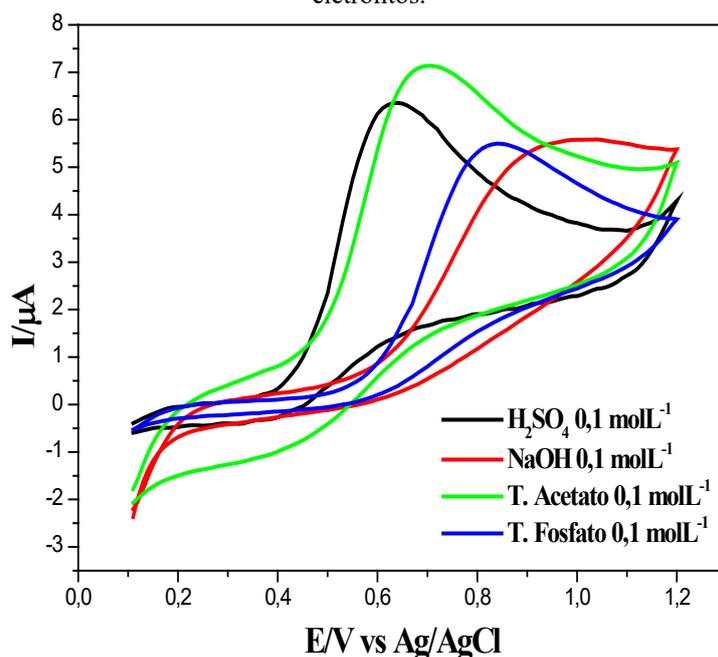


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

No estudo de eletrólito foram realizadas análises em diferentes meios como mostra a Figura 8. Analisou-se a solução H_2SO_4 a $0,1 \text{ molL}^{-1}$ pH=1, solução NaOH $0,1 \text{ molL}^{-1}$ pH=13, solução Tampão Acetato a $0,1 \text{ molL}^{-1}$ pH=4 e solução de Tampão Fosfato a $0,1 \text{ molL}^{-1}$ pH=8. Com esta análise percebeu-se uma diferença entre os variados meios, por apresentar uma maior magnitude na corrente de pico (I_p) escolheu-se a solução de Tampão Acetato $0,1 \text{ molL}^{-1}$ para os próximos estudos.



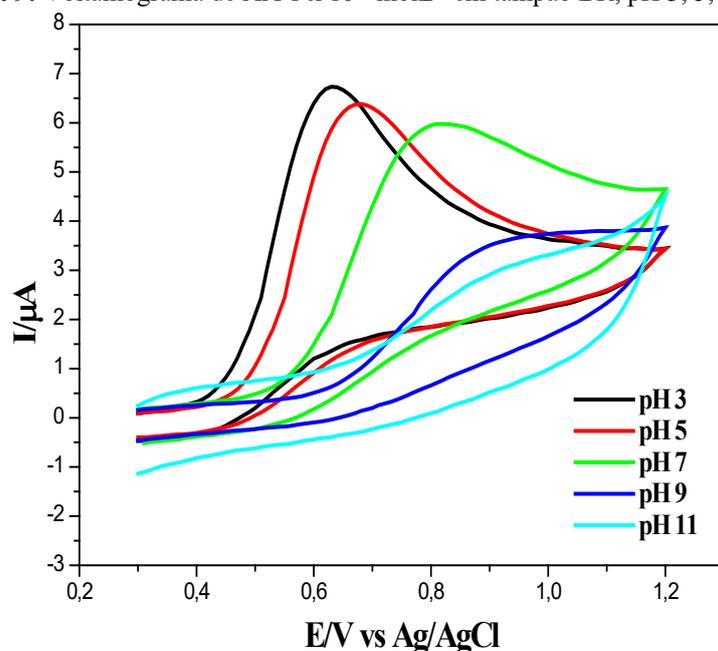
Figura 8: Voltamogramas Cíclicos (50 mVs^{-1}) de AA a $1 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$ sobre ECG em diferentes meios de eletrólitos.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para analisar o comportamento do potencial de oxidação do AA em diferentes valores de pHs, utilizou-se o tampão de Britton-Robinson. Avaliou-se os voltamogramas cíclicos nos pHs, 3, 5, 7, 9 e 11, na presença de AA $1,0 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$. A Figura 9 é possível observar que o pH 5 proporcionou a melhor corrente de pico, portanto, este foi mantido para as análises eletroquímicas subsequentes.

Figura 9: Voltamograma de AA $1 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$ em tampão BR, pH 3, 5, 7, 9, 11.

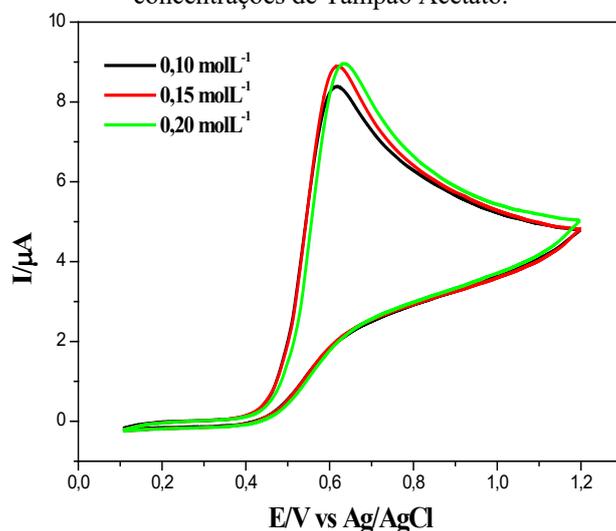


Fonte: Elaborado pela autora (2022).



Já nos estudos variando a concentração do eletrólito suporte escolhido escolheu-se a concentração de $0,1 \text{ molL}^{-1}$ por se tratar de um valor intermediário e que propôs uma melhor definição no pico quando comparado com o pico de maior intensidade que apresenta a de $0,2 \text{ molL}^{-1}$, na Figura 10 é possível observar as concentrações analisadas.

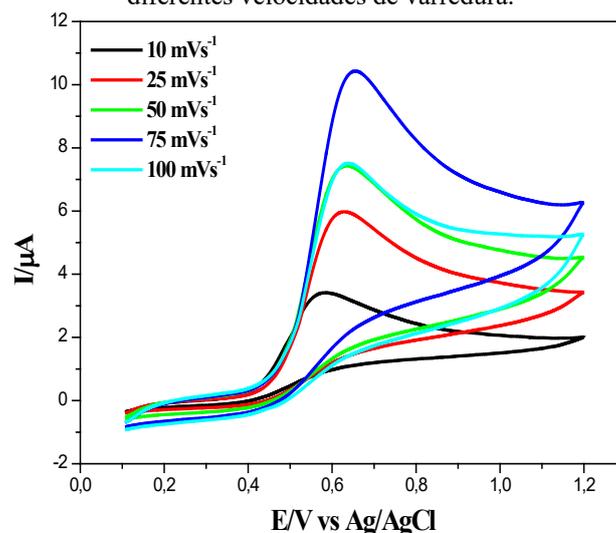
Figura 10: Voltamogramas cíclicos (50 mVs^{-1}) para oxidação de AA a $1 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$ sobre ECG em diferentes concentrações de Tampão Acetato.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A velocidade de varredura sobre resposta voltamétrica do AA $1 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$ sobre o ECG em solução de Tampão Acetato a $0,1 \text{ molL}^{-1}$ foi avaliado entre 10 a 100 mVs^{-1} . Na Figura 11 é mostrado os voltamogramas cíclicos obtidos onde apresenta um aumento na intensidade do pico de oxidação do AA a partir da variação da velocidade.

Figura 11: Voltamogramas cíclicos utilizando o ECG com AA $1 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$ em Tampão acetato $0,1 \text{ molL}^{-1}$ em diferentes velocidades de varredura.



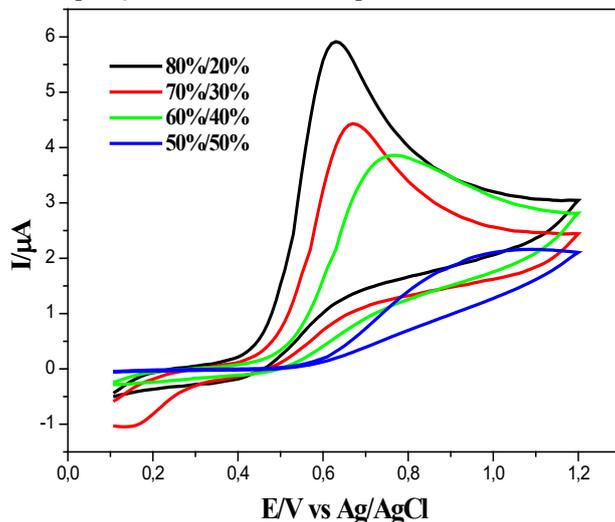
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para avaliar a melhor composição do ECG, foi realizado um estudo comparativo entre as proporções de grafite/silicone (m/m). Foram escolhidas quatro proporções distintas para a



realização deste estudo, de 80/20, 70/30, 60/40 e 50/50 (m/m). Na Figura 12, podemos verificar o comportamento dos sensores nas diferentes composições, com isso a melhor composição a ser utilizada é a de 80_{grafite}/20_{silicone} (m/m), pois esta apresentou uma maior corrente de pico em comparação das outras composições.

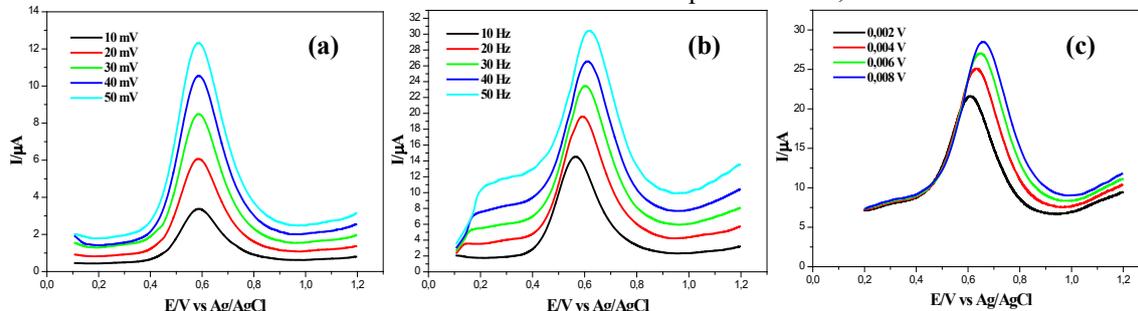
Figura 12: Voltamogramas Cíclicos (50 mVs^{-1}) para oxidação de AA a $1 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$ sobre diferentes composições de ECG em Tampão Acetato $0,1 \text{ molL}^{-1}$.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Dando prosseguimento aos estudos, na técnica de VOQ, foram realizados os estudos de otimização dos parâmetros que a compõem, como amplitude (a), frequência (F) e o incremento (ΔE), utilizando o método univariado, onde se fixa dois parâmetros para que um seja estudado e assim sucessivamente. Os parâmetros da amplitude foram realizados nos intervalos de 10 mV a 50 mV. Na frequência foram analisados nos intervalos de 10 Hz a 50 Hz, sendo fixados parâmetros como amplitude e incremento. Por fim, o incremento foi analisado nos intervalos de 2 mV a 10 mV, na Figura 13 é possível verificar os parâmetros analisados.

Figura 13: Voltamograma de Onda Quadrada na variação da amplitude (a), frequência (b) e incremento (c) sobre o ECG em AA $1 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$ em Tampão Acetato $0,1 \text{ molL}^{-1}$.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na Tabela 1, é possível visualizar estes estudos realizados e escolhidos nas condições otimizadas e com os melhores parâmetros utilizados na técnica de VOQ.



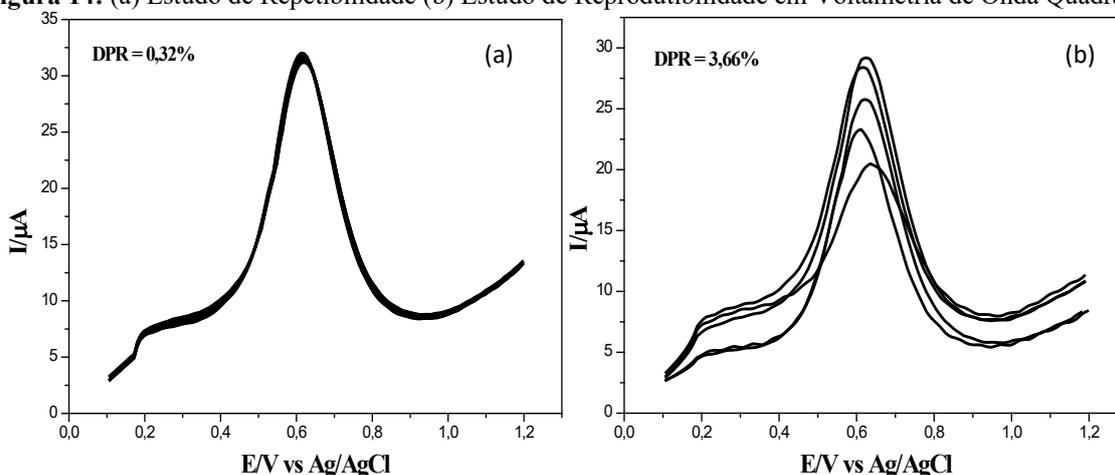
Tabela 1: Parâmetros escolhidos para a técnica de VOQ utilizando o ECG em CS $1 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$.

Parâmetros	Condições estudadas	Condições escolhidas
Estudo da amplitude (mV)	10, 20, 30, 40, 50	50
Estudo da frequência (Hz)	10, 20, 30, 40, 50	50
Estudo do incremento (mV)	2, 4, 6, 8, 10	8

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Diante dos resultados de otimização do ECG na técnica de VOQ, realizou-se o estudo de repetibilidade e de reprodutibilidade do eletrodo, o estudo de repetibilidade foi realizado no mesmo sensor com 10 varreduras consecutivas obtendo um voltamograma com um desvio padrão relativo de 0,32 de acordo com a Figura 14. O estudo de reprodutibilidade foi realizado sobre 5 sensores diferentes, após isso foi obtido um voltamograma com o desvio padrão relativo de 3,66 como pode ser observado na Figura 14.

Figura 14: (a) Estudo de Repetibilidade (b) Estudo de Reprodutibilidade em Voltametria de Onda Quadrada.

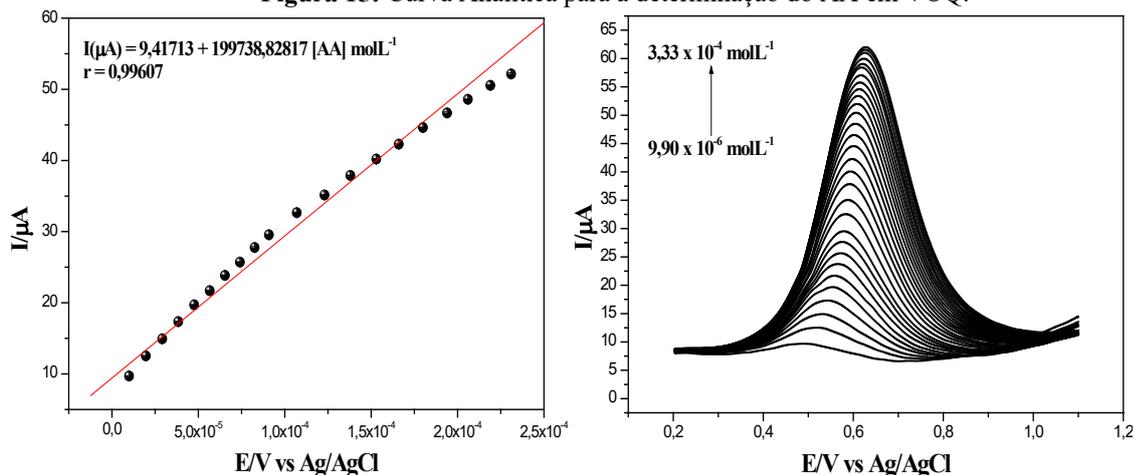


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Após a otimização das técnicas voltamétricas para a determinação de AA utilizando o ECG em VOQ, foram realizadas 20 adições sucessivas, 10 adições de $50 \mu\text{L}$ e 10 adições de $100 \mu\text{L}$, de uma solução estoque de AA $1 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$ em solução de Tampão acetato $0,1 \text{ molL}^{-1}$ e foi-se registrando os voltamogramas após cada adição. Construiu-se também uma curva analítica nos intervalos de $3,33 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$ a $9,90 \times 10^{-6} \text{ molL}^{-1}$ com correlação linear de 0,99607, observando-se a equação da reta obtida na Figura 15, onde os valores calculados para LD e LQ na técnica de VOQ foram na ordem de $2,16 \times 10^{-6} \text{ molL}^{-1}$ e $7,21 \times 10^{-6} \text{ molL}^{-1}$, respectivamente.



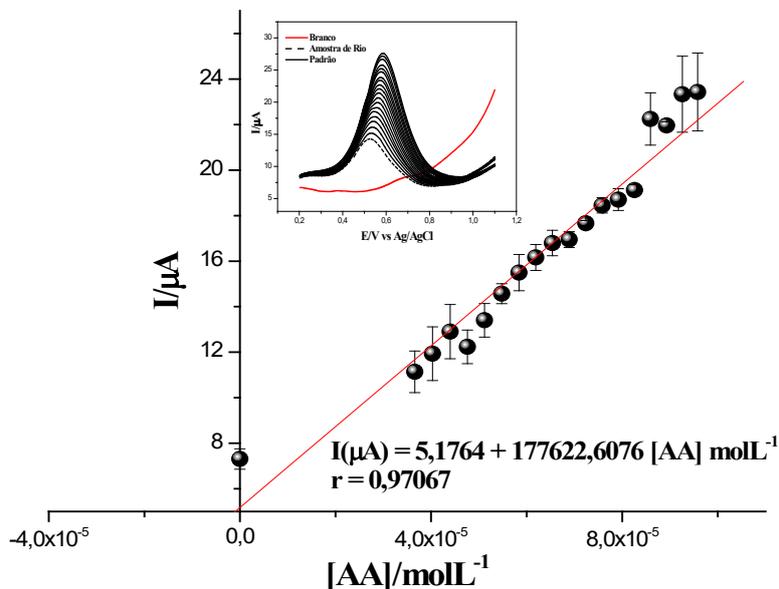
Figura 15: Curva Analítica para a determinação do AA em VOQ.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para a determinação de AA na amostra do rio, realizou-se 1 adição de 150 μL , da amostra, e 19 adições sucessivas de 50 μL , por adição do padrão. Observou-se os voltamogramas nas adições das amostras no intervalo de $2,91 \times 10^{-5} \text{ molL}^{-1}$ a $9,58 \times 10^{-5} \text{ molL}^{-1}$, a partir deste voltamograma, construiu-se a, originando-se a seguinte equação da reta: $I(\mu\text{A}) = 5,1764 + 177622,6076 [\text{AA}] \text{ molL}^{-1}$. Mediante desta equação, foi possível encontrar uma concentração da amostra do rio no valor de $2,91 \times 10^{-5} \text{ molL}^{-1}$, constatando assim um resultado que corresponde ao valor teórico presente na cela eletroquímica, como pode ser observado na Figura 16.

Figura 16: Curva analítica em VOQ para a determinação de AA em amostra do rio.



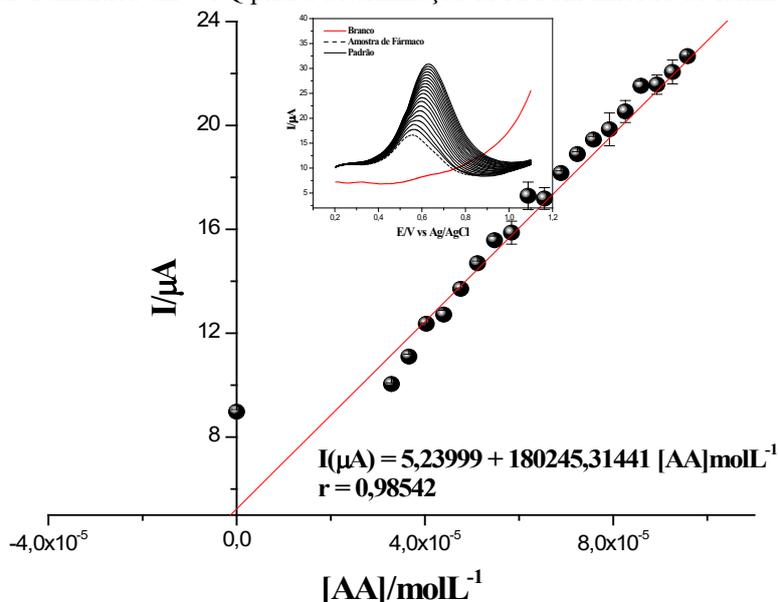
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para a determinação de AA na amostra do fármaco Redoxon®, realizou-se 1 adição de 150 μL , da amostra, e 19 adições sucessivas de 50 μL , por adição do padrão, totalizando 20 adições. Os voltamogramas analisados da amostra foram no intervalo de $2,91 \times 10^{-5} \text{ molL}^{-1}$ a



$9,58 \times 10^{-5} \text{ molL}^{-1}$. Além disso, construiu-se uma curva analítica que pode ser observada na Figura 17, originando-se a seguinte equação da reta: $I(\mu\text{A}) = 5,23999 + 180245,31441[\text{AA}] \text{ molL}^{-1}$. A partir desta equação, encontrou-se uma concentração semelhante ao valor teórico presente na cela eletroquímica, no valor de $2,91 \times 10^{-5} \text{ molL}^{-1}$, constatando assim um resultado satisfatório.

Figura 17: Curva analítica em VOQ para a determinação de AA em amostra do fármaco Redoxon®.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados apresentados, podemos considerar que o processo de oxidação do Ácido Ascórbico (AA) sobre o Eletrodo Compósito de Grafite (ECG) é um processo irreversível, pois apresenta apenas o pico anódico (I_{pa}) no sentido direto da reação eletrolítica, no intervalo de potencial 0,7V e 0,9V vs Ag/AgCl. Os resultados dos estudos de eletrólitos, foi possível verificar que o melhor meio para ocorrer a oxidação do AA foi em Tampão Acetato pH=4 e concentração de $0,1 \text{ molL}^{-1}$, pois apenas neste eletrólito foi apresentado um melhor pico de oxidação do analito.

Já nos estudos de velocidade de varredura foi possível verificar que o processo que ocorre na superfície do eletrodo se dar por difusão de espécies, apesar de que na velocidade de 75 mVs^{-1} a intensidade de pico foi consideravelmente maior, escolheu-se a velocidade de 50 mVs^{-1} pois apresentou uma definição de pico melhor. Também foram analisadas as proporções de grafite/silicone (m/m) que continha o ECG. À proporção que apresentou a melhor resposta voltamétrica foi de 80% de grafite e 20% de silicone.



Para a técnica de VOQ foram realizadas as análises de otimização dos parâmetros que a compõe sobre o ECG. Foi visto que as melhores condições para se trabalhar na técnica de VOQ foi com $a = 50 \text{ mV}$ $f = 50 \text{ Hz}$ e o $\Delta E = 8 \text{ mV}$.

Aliado a isto, ao construir a curva analítica com ECG, obteve-se um coeficiente de correlação de 0,98787, com um LD e LQ de $2,2 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ e $7,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$, respectivamente, na técnica de VOQ.

Com isso, ao realizar a determinação eletroanalítica do Ácido ascórbico em ECG na amostra de rio e do fármaco Redoxon®, encontrou-se uma concentração no valor de $2,91 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$. Em ambas as amostras as concentrações encontradas mostram um valor semelhante ao valor teórico, trazendo assim um resultado satisfatório na determinação do analito. Portanto, conclui-se que o método eletroanalítico desenvolvido demonstrou resultados eficientes e satisfatórios na determinação de AA em amostras farmacêuticas e ambientais.

REFERÊNCIAS

- DALA PAULA, B. M. **Vitaminas**. Química & Bioquímica de Alimentos, p. 176-191, 2021.
- FIORUCCI, A. R.; SOARES, M. H. F. B.; CAVALHEIRO, E. T. G. **A importância da vitamina C na sociedade através dos tempos**. Química Nova na Escola, n. 17, p. 3-7, 2003.
- MENDES, E. N., et al (2020). **Hábitos de vida e consumo de alimentos pós pandemia de COVID-19 em São Luís, Maranhão, Brasil**. Revista de Saúde Coletiva. Barueri, p. 10-58.
- SANTOS, S. X. **Aplicação de eletrodos compostos a base de grafite e borracha de silicone na determinação de substâncias de interesse farmacológico**. Universidade Federal de São Carlos. Dissertação (mestrado), UFSCAR, 2007.
- SKOOG, D. A. et al. **Fundamentos de Química Analítica**, 2006 Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo – SP.
- SOUZA, D.; MACHADO, S. A. S.; AVACA, L. A. **Voltametria de Onda Quadrada. Primeira Parte: Aspectos teóricos**. Química Nova, v. 26, n. 1, p.81-89, 2003.
- TICIANELLI, E.A.; GONZALEZ, E. R. **Eletroquímica: Princípios e Aplicações**. 2ed, São Paulo, Edusp, 2005.



CAPÍTULO 21

UMA PROPOSTA DIDÁTICA DO USO DO GEOGEBRA NAS AULAS DE GEOMETRIA

José Hélio Henrique de Lacerda
Helder Flaubert Lopes de Macêdo
Naelson Silva Sousa

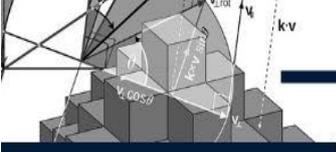
RESUMO

Neste trabalho realiza-se uma breve discussão sobre a forma como os conteúdos de matemática são abordados pelo professor em sala de aula e sugere-se uma abordagem do estudo de funções e geometria de forma dinâmica através do uso do software GeoGebra. Nessa perspectiva, observam-se algumas sugestões dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e faz-se uma pequena reflexão de como alguns livros didáticos trabalham o tema. Contudo não se pretende sugerir que os softwares os substituam, mas que estes sirvam como um recurso a mais para que o professor possa ilustrar e tornar mais atrativas as aulas de matemática. Para isso, apresentam-se propostas que poderão ser discutidas e analisadas, pois acredita-se ser fundamental estudar formas de agregar novas estratégias de ensino, em especial, com o uso das tecnologias. Neste sentido, percebe-se o GeoGebra como uma ferramenta didática e de grande potencial que possibilita obter maior significado, quando utilizado de forma correta, coerente; levando ao desenvolvimento de argumentos, visualização, reflexão, senso crítico e dedutivo do estudante. Fomentando a autonomia do sujeito para produção de novos conhecimentos.

PALAVRAS CHAVES: Geometria Dinâmica; Tecnologia; GeoGebra.

INTRODUÇÃO

A Geometria é a parte da matemática que estuda o espaço e as figuras que podem ocupá-lo. Segundo relatos históricos, desenhos de civilizações da antiguidade continham figuras geométricas que apresentavam a simetria como principal característica, mostrando, assim, que esta é uma das áreas mais antigas da matemática. Tais civilizações ainda a utilizavam na medição de áreas, superfícies e volumes, posteriormente sendo empregada também no estudo da astronomia, da física e diversas outras ciências (VIDAL; EUSTÁQUIO, 2014). Devido a sua importância tornou-se parte fundamental do componente escolar no estudo da matemática. Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN, 2006) sugerem que a geometria deve possibilitar aos alunos desenvolver habilidades básicas para a resolução de problemas práticos do dia a dia como, por exemplo, comparar distâncias percorridas, ler mapas, efetuar cálculos de áreas e volumes, saber usar diversas unidades de medida, além de facilitar a compreensão de teoremas e argumentações dedutivas, devendo-se trabalhar de forma sistematizada e aprofundada as representações das diferentes figuras espaciais e planas, abordando conceitos estudados no



Ensino Fundamental como, por exemplo, as relações de proporcionalidade, congruência e demais propriedades dos polígonos e círculos, bem como os teoremas devem ser consolidados.

Por outro lado a Base Nacional Comum Curricular (BNCC, 2017) trouxe para os docentes da área de matemática, a possibilidade e o incentivo de desenvolverem um olhar diferenciado, não somente para os objetos de conhecimento dessa área, mas também para as outras áreas, a fim de que busquem o diálogo, a interação, a cooperação e a colaboração. Entre as principais habilidades previstas em tal documento a BNCC para o Ensino Médio destaca que o estudante deve ser capaz de:

(EM13MAT307): Empregar diferentes métodos para a obtenção da medida da área de uma superfície (reconfigurações, aproximação por cortes etc.) e deduzir expressões de cálculo para aplicá-las em situações reais, como o remanejamento e a distribuição de plantações, com ou sem apoio de tecnologias digitais. (EM13MAT309): Resolver e elaborar problemas que envolvem o cálculo de áreas totais e de volumes de prismas, pirâmides e corpos redondos (cilindro e cone) em situações reais, como o cálculo do gasto de material para forrações ou pinturas de objetos cujos formatos sejam composições dos sólidos estudados. (BNCC, 2017, p. 528).

Isso exigirá do professor a elaboração de tarefas matemáticas significativas para a sala de aula, de modo que o estudante tenha a possibilidade de vivenciar experiências matemáticas de exploração e descobertas e não somente de memorização ou repetição de fórmulas. Uma vez que a aprendizagem matemática num cenário de investigação ocorre quando os estudantes trabalham em tarefas para as quais não dispõem de métodos de resolução imediata e têm de pensar e construir as suas próprias estratégias. Nesse sentido, o uso das tecnologias digitais, em especial, o uso de softwares como o GeoGebra pode auxiliar o estudante a interpretar a linguagem algébrica e, quando possível e conveniente, transpô-la para a linguagem geométrica.

Quanto ao estudo de funções, tanto os Parâmetros Curriculares Nacionais quanto a BNCC esclarecem que devemos observar alguns aspectos importantes. Por exemplo, uma parte relevante da Trigonometria diz respeito às funções trigonométricas e seus gráficos; as sequências, em especial, progressões aritméticas e progressões geométricas, nada mais são de que funções particulares. As propriedades de retas e parábolas estudadas em Geometria Analítica são propriedades dos gráficos das funções correspondentes. Vale ressaltar ainda que, além das conexões internas à própria matemática, o conceito de funções desempenha também papel importante para descrever e estudar através da leitura, interpretação e construção de gráficos, o comportamento de certos fenômenos tanto do cotidiano, como de outras áreas do conhecimento, como a Física, Geografia, Economia entre outras. Por exemplo, na BNCC pode-se destacar as duas seguintes habilidades:



(EM13MAT101): Interpretar situações econômicas, sociais e das Ciências da Natureza que envolvem a variação de duas grandezas, pela análise dos gráficos das funções representadas e das taxas de variação com ou sem apoio de tecnologias digitais. (EM13MAT102): Analisar gráficos e métodos de amostragem de pesquisas estatísticas apresentadas em relatórios divulgados por diferentes meios de comunicação, identificando, quando for o caso, inadequações que possam induzir a erros de interpretação, como escalas e amostras não apropriadas. (EM13MAT401): Converter representações algébricas de funções polinomiais de 1º grau para representações geométricas no plano cartesiano, distinguindo os casos nos quais o comportamento é proporcional, recorrendo ou não a softwares ou aplicativos de álgebra e geometria dinâmica. (BNCC, 2017, p. 525)

Nesse contexto, percebe-se que o GeoGebra é capaz dinamizar o estudo da geometria, da álgebra, de tabelas e gráficos de funções facilitando a investigação e o aprendizado de diversos conceitos matemáticos o que pode contribuir para a assimilação dos conteúdos vistos pelos estudantes, pois o apelo visual estimula não só uma maior compreensão do assunto como também mostra, na prática, o uso da matemática que muitas vezes é tida como mera teoria e não como uma ciência prática.

OS LIVROS DIDÁTICOS E OS SOFTWARES

Ao abordar questões relacionadas à transposição didática que aparece ligada a ideia de contextualização em busca da dinâmica na construção do saber, os Parâmetros Curriculares Nacionais ressaltam ainda a importância do professor não ter o livro didático como um substituto das orientações curriculares, mas que o veja como um recurso a mais. Ao analisar-se alguns livros didáticos das coleções Matemática Realidade de Gelson Iezzi, Osvaldo Dolce e Antonio Machado, e Matemática Completa de José Ruy Giovanni e José Roberto Bonjorno, pode-se observar que em relação a esses temas, geometria e funções, há uma abordagem intuitiva e experimental, procurando-se, sempre que possível, contextualiza-la sem perder as propriedades lógicas das proposições, principalmente no 6º e no 7º anos do Ensino Fundamental. Já a partir do 8º ano há uma abordagem mais abstrata, mas de forma bastante clara e de fácil compreensão. Observa-se, ainda, nos livros didáticos analisados, que o primeiro capítulo é dedicado a revisar as propriedades mais importantes vistas nas séries anteriores, acredita-se que como forma de sugerir aos professores que antes de trabalhar um novo assunto é interessante fazer uma breve revisão do que foi visto antes.

Porém, alguns estudantes sentem muita dificuldade em compreender certos conceitos matemáticos, pelo fato dos livros didáticos não possibilitarem uma visualização mais aprofundada das aplicações práticas das propriedades geométricas, bem como a construção e o comportamento do gráfico de uma função a partir de pequenas modificações na expressão que a define como, por exemplo, translações, rotações ou expansões.



Segundo o filósofo e matemático Aristóteles (2002, p.3), o homem aprende mais facilmente através da visão, “E o motivo está no fato de que a visão nos proporciona mais conhecimento do que todas as outras sensações e nos torna manifestas numerosas diferenças entre as coisas”. Procurar formas de apresentar ao estudante um estudo de forma dinâmica e criativa poderá facilitar o aprendizado e motivá-lo a buscar novas descobertas. Nessa perspectiva, o uso das tecnologias pode ser uma ferramenta importante nesse processo, pois elas fazem parte do dia a dia da maioria dos estudantes.

Neste sentido, tanto os Parâmetros Curriculares Nacionais quanto a BNCC ressaltam a importância das tecnologias nas aulas de matemática, abordando a matemática para entender os avanços tecnológicos e o uso da tecnologia para compreender a matemática.

Já se pensando na Tecnologia para a Matemática, há programas de computador (softwares) nos quais os alunos podem explorar e construir diferentes conceitos matemáticos, referidos a seguir como programas de expressão. Os programas de expressão apresentam recursos que provocam, de forma muito natural, o processo que caracteriza o “pensar matematicamente”, ou seja, os alunos fazem experimentos, testam hipóteses, esboçam conjecturas, criam estratégias para resolver problemas. São características desses programas: a) conter um certo domínio de saber matemático - a sua base de conhecimento; b) oferecer diferentes representações para um mesmo objeto matemático - numérica, algébrica, geométrica; c) possibilitar a expansão de sua base de conhecimento por meio de macroconstruções; d) permitir a manipulação dos objetos que estão na tela. (BRASIL, 2006, p. 88).

O GEOGEBRA

Criado por Markus Hohenwarter em 2001, o GeoGebra é um software livre usado em cerca de 190 países e traduzido para 55 idiomas, tendo 62 Institutos GeoGebra em 44 países para dar suporte para o seu uso, inclusive no Brasil, tendo como principal objetivo dinamizar o estudo da geometria, álgebra, tabelas e gráficos facilitando a investigação e o aprendizado de diversos conceitos matemáticos. (ISPG, s/d)

Considerado um software educacional, o GeoGebra é uma poderosa ferramenta digital, cujo caráter é de software de geometria dinâmica, é utilizado para diversas construções, manipulações, e observações visuais. Sua interface, é bastante interativa, dinâmica, intuitiva e de fácil compreensão. Os ícones disponíveis indicados na aba ferramentas possibilitam a criação dos objetos de forma bastante simples uma vez que apresentam instruções de como construir determinado objeto. Além disso, é um programa/aplicativo livre e gratuito, no qual o funcionamento pode ser de forma online, por acesso online na página oficial <https://www.geogebra.org/>, ou de forma off-line, ou seja, baixado e instalado no computador ou celular.



Desse modo, além de muito rico em propriedades, o GeoGebra tem a vantagem de ser acessível aos estudantes que não têm condições financeiras de adquirirem software pago. Com base nisso, neste trabalho sugere-se tanto aos professores em atuação quanto aos em formação a utilização do GeoGebra como ferramenta para despertar o interesse dos alunos pela matemática, em especial, pelos estudos da geometria e funções, levando-os a envolver-se nas atividades, tornando as aulas mais dinâmicas e interativas. Como afirmam os Parâmetros Curriculares Nacionais

No uso de tecnologia para o aprendizado da Matemática, a escolha de um programa torna-se um fator que determina a qualidade do aprendizado. É com a utilização de programas que oferecem recursos para a exploração de conceitos e ideias matemáticas que está se fazendo um interessante uso de tecnologia para o ensino da Matemática. Nessa situação, o professor deve estar preparado para interessantes surpresas: é a variedade de soluções que podem ser dadas para um mesmo problema, indicando que as formas de pensar dos alunos podem ser bem distintas; a detecção da capacidade criativa de seus alunos, ao ser o professor surpreendido com soluções que nem imaginava, quando pensou no problema proposto; o entusiástico engajamento dos alunos nos trabalhos, produzindo discussões e trocas de idéias que revelam uma intensa atividade intelectual. (BRASIL, 2006, p.89-90).

Por fim, sugerem-se algumas atividades que podem ser realizadas com o GeoGebra em sala de aula, quais sejam: Trabalhar a ideia de retas perpendiculares, retas paralelas, bissetriz, mediatriz, ângulos retos, ângulos alternos (externos e internos); Abordar as propriedades dos polígonos, observando as semelhanças entre triângulos; Trabalhar as relações e propriedades da geometria plana contidas na geometria espacial e analisar os conceitos dos teoremas de Tales e Pitágoras; Estudar a área e o perímetro do Círculo, investigando as relações entre o diâmetro, o perímetro e a área; Construir gráficos das funções seno, $\text{sen}(ax)$, cosseno, $\text{cos}(ax)$, tangente, $\text{tan}(ax)$, da função afim $f(x) = ax + b$ e da função quadrática $g(x) = ax^2 + bx + c$, analisando as variações dos respectivos gráficos a partir de modificações dos valores das constantes a , b e c .

Tais atividades buscam mostrar de forma mais clara e dinâmica as propriedades das figuras geométricas, fazendo uma interação do GeoGebra com os livros e materiais didáticos disponíveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de sua grande relevância para as mais diversas áreas do conhecimento, estudos mostram que a matemática é uma das disciplinas que mais causam medo e aversão aos estudantes bem como um grande número de reprovações. Um dos grandes desafios para o professor de Matemática é despertar no estudante o interesse e a vontade de aprender tal disciplina que muitas vezes é vista apenas como uma coleção de formulas, regras e métodos.



Em geral, o ensino das Ciências da Natureza, em espacial, da Matemática e das Tecnologias é necessário se levar em conta que a construção de conhecimento científico envolve valores humanos, relaciona-se com a tecnologia. Entre os maiores desafios para o aprimoramento do aprendizado da Ciência e da Tecnologia, na Educação Básica, está a formação adequada de professores, a elaboração de materiais educacionais apropriados e até mesmo a modificação do posicionamento e da prática pedagógica.

Diante disso, nesse trabalho buscou-se destacar que o uso de softwares nas atividades dos professores, tomando como exemplo o GeoGebra, pode facilitar a compreensão do estudante em relação às propriedades geométricas, mostrando que tanto aprender como ensinar podem ser atividades dinâmicas e divertidas, procurando desmistificar a ideia de que o estudo da matemática é difícil e, muitas vezes, tedioso.

REFERÊNCIAS

ARISTÓTELES. **Livro A**. In *Metafísica*. Ensaio introdutório, texto grego com tradução e comentário de Geovanni Reale. São Paulo, 2002, ed2, Edições Loyola. (Traduzido por Marcelo Perine).

BRASIL. Secretaria de Educação. **Parâmetros curriculares nacionais: Ensino Fundamental/Ensino Médio**. Brasília: MEC, 2006. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>. Acesso em: 07/07/2022.

BNCC - **A Base Nacional Comum Curricular**. ENSINO MÉDIO. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf. Acesso em: 07/07/2022.

GIOVANNI, José Ruy; BONJORNO, José Roberto. **Matemática completa**. 2. ed. renovada. São Paulo: FTD, 2006. (Coleção matemática completa).

_____. **Matemática completa**. 2. ed. renovada. São Paulo: FTD, 2005. (Coleção matemática completa).

IEZZI, Gelson. DOLCE, Osvaldo; MACHADO, Antonio. **Matemática e realidade**: 6º ano. 6. ed. ? São Paulo: Atual, 2009.

_____. **Matemática e Realidade**: 7º ano. 6. ed. São Paulo: Atual, 2009.

INSTITUTO SÃO PAULO GEOGEBRA. **SEBRE O GEOGEBRA**. Disponível em: <http://www.pucsp.br/geogebra/> Acesso em: 29/06/2022.



VIDAL, Márcia Cristina Pereira; EUSTÁQUIO, Rodrigo Garcia. **OS DESAFIOS DA ESCOLA PÚBLICA PARANAENSE NA PERSPECTIVA DO PROFESSOR PDE**. 2014. Disponível em: [HTTP://WWW.DIAADIAEDUCACAO.PR.GOV.BR/PORTALS/CADERNOSPDE/PDEBIBLIOTECA/PRODUCOES_PDE/2014/2014_UTFPR_MAT_ARTIGO_MARCIA_CRISTINA_PEREIRA_VIDAL.PDF](http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernos/pde/pde_biblioteca/producoes_pde/2014/2014_utfpr_mat_artigo_marcia_cristina_pereira_vidal.pdf). Acesso em: 06/07/2022.

CAPÍTULO 22

REFINO DE ÓLEOS VEGETAIS POR DEGOMAGEM ÁCIDA E AQUOSA VISANDO A PRODUÇÃO DE BIODIESEL ¹

José Sebastião Cidreira Vieira
Davina Camelo Chaves
Makson Rangel de Melo Rodrigues
Rayla Conceição Cavalcante
Efraim Costa Pereira
Agustinho Rodrigues Pereira
Thyago Brito Morais
Hugo da Costa Reis

RESUMO

Este projeto de pesquisa teve por objetivo tratar óleos impróprios para o processamento de biodiesel por catálise homogênea básica. Inicialmente, os óleos vegetais de palma e de pequi (*Caryocar brasiliensis*) foram caracterizados físico-quimicamente e constatou-se que o teor de ácidos graxos livres (AGL) variou de 11,82 a 11,92% para o óleo de palma e valor médio de 3,4 ($\pm 0,20$) para o óleo de pequi. O teor de umidade atingiu valores médios de 0,80% ($\pm 0,64$) e 0,97% ($\pm 0,05$) respectivamente. Os resultados revelados indicaram que houve uma redução na faixa de 70,5 - 85% de AGL e 0,49 - 1,00 % de H₂O. As amostras refinadas do óleo de pequi foram convertidas em biodiesel por catálise homogênea básica, os ensaios por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) revelaram um rendimento de 76,5-89,6% de biodiesel para o óleo tratado por degomagem aquosa e de 76,5-80% para o óleo tratado por degomagem ácida. Os resultados obtidos nos permitiram inferir que o tratamento por degomagem foi eficiente, mas, não eficaz ao ponto de reduzir o teor de AGL para menor ou igual 0,5% e deixar a matéria-prima com baixo teor de umidade (0,25% H₂O max.) conforme especificação para considerá-lo próprio para o processo de transesterificação tradicional. Diante do exposto verifica-se a necessidade de melhorarem-se as rotas reacionais visando adequar-se a matéria-prima graxa para a obtenção de biodiesel e atender ainda mais as especificações da ANP

PALAVRAS-CHAVE: Ácidos graxos livres; Degomagem; Catálise homogênea; Biodiesel.

INTRODUÇÃO

O refino de matérias-primas oleaginosas de baixo valor agregado visando sua conversão para éster de ácidos graxos (biodiesel) é de fundamental importância para adequá-los ao processo de transesterificação tradicional (VIEIRA et al., 2017; CASTRO, 2019).

A reação de transesterificação via catálise homogênea básica é na atualidade a técnica mais utilizada para a obtenção de biodiesel. Ela é capaz de converter a matéria-prima em valores

¹ Os autores agradecem ao apoio e aporte financeiro concedido pela Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PRPGI-IFMA), pelo Campus Zé Doca e pelo Grupo de Pesquisas em Análises Químicas Sustentáveis (GPAQS).



superiores a 98% de biodiesel (ENCINAR, SANCHEZ, GARCIA, 2011; DRELINKIEWICZ, 2014). Por outro lado, o referido processo de transformação exige uma matéria-prima de elevada pureza, ou seja, um baixo teor de ácidos graxos livres, AGL ($AGL \leq 0,5\%$) e isenção ou baixo teor de umidade (no máximo 0,25% H₂O). Conseqüentemente, a produtividade sustentável e a competitividade do biodiesel decaem significativamente em relação ao diesel fóssil no mercado consumidor (VIEIRA et al., 2017).

Uma alternativa economicamente viável para reduzir os custos do processo de transesterificação por catálise homogênea básica é o emprego de matéria-prima de baixo valor agregado para compensar os custos elevados com a aquisição de matérias-primas de elevada pureza (VIEIRA et al., 2017). No entanto, material graxo de baixa qualidade em geral apresenta em sua composição química, um elevado índice de acidez e teor de umidade, que os tornam inadequado para a obtenção de biocombustíveis. Dentre tais recursos obtidos de fontes renováveis de energia destacam-se o óleo de pequi (*Caryocar brasiliensis*), um material oleaginoso encontrado com certa abundância na mesorregião do Alto Turi maranhense o ano inteiro, sendo que o ponto culminante de coleta deste fruto reside na faixa de janeiro a março. Nesse interim, agricultores familiares tratam de extrair o óleo de modo rudimentar e o armazenam para venda ao longo do ano.

Em face da maneira como o sistema de coleta, extração e armazenamento são conduzidos, com o passar do tempo o óleo entra em processo de rancidez (deterioração) liberando ácidos graxos livres (AGL) e água que são variáveis de estado de um óleo vegetal indesejáveis ao processo de produção de biodiesel, uma vez que estes interferem negativamente no decurso da reação de transesterificação inativando o catalisador homogêneo básico (NaOH ou KOH) originando sais de ácidos graxos (sabão) e reduzindo a produção de biodiesel ambientalmente sustentável (CASTRO, 2019; PENEDO, COELHO, 2013).

Os componentes indesejáveis ao processo produtivo de biodiesel por catálise homogênea básica, contidos na composição química dos materiais de baixo valor agregado, tais como, AGL, H₂O, fosfatídeos hidratados e não hidratados, proteínas e pigmentos coloridos podem ser eliminados através de técnicas de purificação ou refino dos materiais graxos. Neste estudo destacam-se os processos de degomagem aquosa e de degomagem ácida (PENEDO, ARRUDAS, RODRIGUES, 2013; AZEVEDO, 2014). Enquanto, o processo físico de degomagem aquosa inativa os fosfatídeos hidratados, o processo químico de degomagem ácida é aplicado na purificação de óleos contendo fosfatídeos independentes de ser hidratados ou não, além de outros interferentes supracitados. Na degomagem aquosa, o agente com a função de



arrastar as substâncias indesejáveis é água aquecida (daí ser considerado um processo físico). No processo de degomagem ácida, o digestor dos interferentes é o ácido fosfórico (H_3PO_4). A técnica de degomagem é largamente empregada nos meios industriais de óleos e gorduras para refinar óleos brutos em função do seu baixo custo de aquisição no mercado fornecedor, que tende satisfazer a demanda das indústrias de óleos e gorduras. (SILVA, ARRUDAS, RODRIGUES, 2015; VIEIRA et al., 2020).

A etapa mais difícil de executar é a de neutralização devido à geração de borras, além de causar o arraste significativo de óleo neutro e de antioxidante. Ela consiste na adição de solução de hidróxido de sódio (NaOH), cuja função é a remoção dos ácidos graxos presentes na matéria-prima graxa (ENGELMANN, 2015).

Este trabalho teve por objetivos refinar amostras de óleos vegetais in natura por degomagem ácida e aquosa visando à produção de biodiesel. Para se atingir o objetivo geral proposto realizaram-se as seguintes etapas: caracterização físico-química de amostras de óleos vegetais de baixo valor agregado, comparação da eficiência de refino entre a degomagem ácida e aquosa, produção de biodiesel a partir de óleos vegetais degomados e contribuição com a sustentabilidade ambiental.

A utilização de matérias-primas oleaginosas consideradas de baixa qualidade para a produção sustentável de biodiesel por transesterificação homogênea pode se tornar economicamente viável e colocar o Brasil na vanguarda de tecnologias produtivas de energia renovável, e pode se constituir em uma excelente oportunidade de desenvolvimento científico e tecnológico com óbvias consequências econômicas gerando divisas, empregos e renda.

METODOLOGIA

As matérias-primas graxas, óleo de palma e óleo de pequi (*Caryocar brasiliensis*). O óleo de palma foi doado pela Agropalma e o óleo de pequi foi adquirido junto a agricultores familiares da mesorregião do Alto Turi, contexto este onde está inserido o município de Zé Doca-MA.

As matérias-primas foram transportadas para os Laboratórios de Químico e de Biocombustíveis do IFMA-Campus Zé Doca, onde foram caracterizadas físico-quimicamente antes e depois do tratamento em termos de Índice de Acidez (I.A), teor de Ácidos Graxos Livres (AGL), teor de umidade (%H₂O), Densidade (D) e Índice de Saponificação (Is) conforme recomendam Moreto et al. (2002), TECBIO (2008), Instituto Adolfo Lutz (2005) e Melo et al. (2012). As análises foram realizadas em triplicata totalizando 48 ensaios no decurso deste



trabalho. A Figuras 1e 2 mostram o aspecto visual do óleo de palma e do óleo de pequi in natura (bruto).

Figura 1: Amostra de Óleo de palma.



Fonte: Autoria Própria (2021).

A Figura 2 ilustra o aspecto visual do óleo de pequi in natura (bruto) coletado junto à família de agricultores do Alto Turi maranhense

Figura 2: Amostra de Óleo de pequi.



Fonte: Autoria Própria (2021).

O índice de acidez é definido como sendo o número de miligramas de hidróxido de potássio (mm KOH) suficiente para neutralizar os ácidos graxos presentes em determinada quantidade de óleo ou gordura. Esse parâmetro foi determinado pelo método título métrico de neutralização.



Em um ensaio típico foram pesados (AM1: 2,04 g; AM2: 2,03 g; AM3: 2,01 g) respectivamente, em um Erlenmeyer de 250 mL, adicionados 25 mL de álcool neutralizado (álcool etílico + éter etílico na proporção de 1:2) e 3-5 gotas de fenolftaleína. Essa mistura foi titulada com solução de NaOH a 0,1Mol. L⁻¹ até o ponto de viragem de incolor para róseo.

Índice de acidez (IA) foi expresso em mg KOH.g⁻¹ de amostra, em seguida, calculou-se o IA usando a seguinte equação a seguir:

$$IA = \frac{V_{gasto} \cdot [NaOH] \cdot f_c \cdot 56,1}{P_{amostra}} \quad \text{Eq. (A)}$$

Onde, V é o volume gasto de NaOH na titulação, [NaOH], é a concentração molar de NaOH, 56,1 peso molecular do KOH, e P é o peso da amostra.

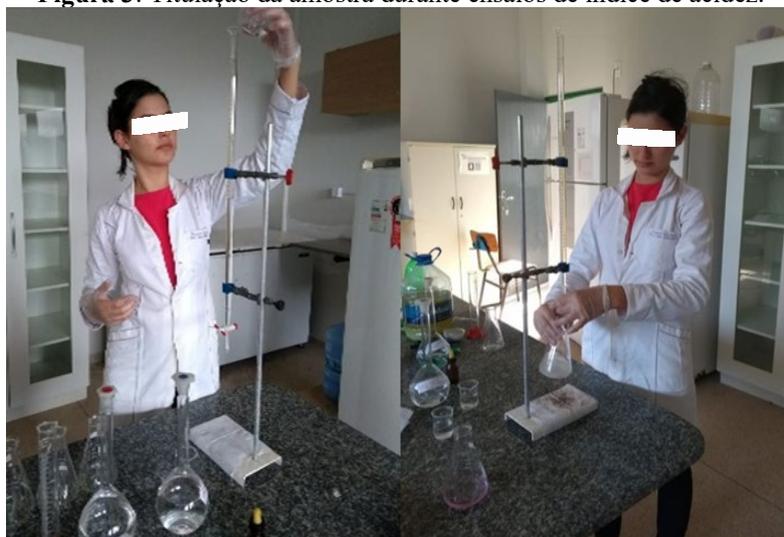
O teor de ácidos graxos livres (AGL) contidos nas amostras foi determinado de modo análogo ao do índice de acidez. A porcentagem de ácidos graxos livres em termos de ácido oleico (A.O) foi calculada de acordo com a equação a seguir.

$$AGL = \frac{V_{gasto} \cdot [NaOH] \cdot f_c \cdot 28,2}{P_{amostra}} \quad \text{Eq. (B)}$$

Onde, 28,2 corresponde ao miliequivalente grama do ácido oleico.

A Figura 3 mostra a realização dos ensaios físico-químicos durante a caracterização do óleo de palma em termos de índice de acidez.

Figura 3: Titulação da amostra durante ensaios de índice de acidez.



Fonte: Autoria Própria (2021).



A determinação da umidade é um dos parâmetros legais para a avaliação da qualidade de óleos e gorduras, sendo realizada por aquecimento direto a 105°C. A determinação do teor de umidade consistiu na diferença entre a massa da amostra úmida e a massa da amostra seca após ser submetida à secagem em estufa por um período de 2 horas a 105 ±5°C. O percentual de água contido nas amostras foi determinado pela equação a seguir.

$$\%H_2O = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100\% \quad \text{Eq. (C)}$$

Onde, P1 é o peso da amostra úmida, P2 é o peso da amostra seca.

A Figura 4 ilustra o ensaio para determinação do teor de umidade.

Figura 4: Determinação do teor de umidade



Fonte: Autoria Própria (2021).

A Figura 5 faz alusão às amostras de óleo de pequi submetidas ao ensaio do teor de umidade.

Figura 5: Amostras do óleo de pequi preparada para o ensaio do teor de umidade.



Fonte: Fonte: Autoria Própria (2021).

O índice de saponificação (I_s) é definido como o número de miligramas de hidróxido de potássio necessário para neutralizar os ácidos graxos, resultantes da hidrólise de um grama da



amostra. O índice de saponificação foi determinado pelo método de Koeststafer, e consistiu em aquecer uma mistura contendo 2,0 g da amostra e 25 mL de solução alcoólica de KOH a 4%, com um refrigerante de refluxo, durante 30 minutos em temperatura branda, seguido de titulação com ácido clorídrico a 0,5 Mol.L⁻¹. Analogamente, foi realizada uma amostra em branco. O índice de saponificação foi determinado pela seguinte equação.

$$I_s = \frac{(V_{branco} - V_{amostra}) \times f_c \times 28}{Peso_{amostra}} = mgKOH / g_{amostra} \quad \text{Eq. (D)}$$

Onde, V_{amostra} é o volume de HCl gasto na titulação da amostra tratada; V_{branco} é o volume de HCl gasto na titulação da amostra em branco; f_c é o fator de correção e Peso_{amostra} é o peso da amostra utilizada durante a análise.

A Figura 6 destaca a determinação do índice de saponificação de amostras das matérias-primas.

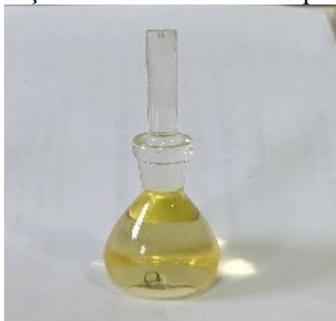
Figura 6: Ensaios de Índice saponificação de amostras do óleo de pequi



Fonte: Fonte: Autoria Própria (2021).

Densidade é a massa por unidade de volume a uma temperatura especificada. A Figura 7 mostra o picnômetro utilizado para a determinação da densidade dos óleos de palma e de pequi respectivamente.

Figura 7: Determinação da densidade óleo de palma por picnometria.



Fonte: Autoria Própria (2021).



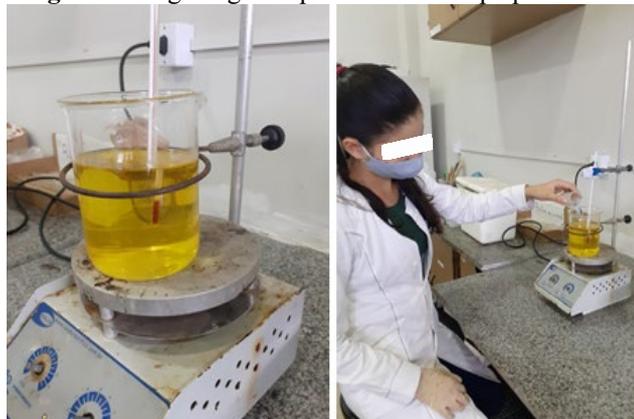
A determinação deste parâmetro foi realizada pelo método de picnometria. Numa análise típica, um picnômetro de capacidade 5 mL foi pesado seco (m_1). Em seguida, adicionou-se o óleo vegetal até atingir sua capacidade máxima. O sistema foi pesado (m_2) novamente e, por diferença de massa ($m_2 - m_1$), determinou-se a massa do óleo e sua densidade (D) através da equação:

$$D = \frac{\text{massa}_{\text{óleo}}}{\text{Volume}_{\text{picnômetro}}} \quad \text{Eq. (E)}$$

DEGOMAGEM AQUOSA

As amostras de óleo de palma e de pequi foram aquecidas após a adição de 5% de água fervente em relação à massa base do referido óleo, a mistura foi mantida em constante agitação durante 30 minutos e aquecida a 70 °C. Posteriormente, a mistura foi submetida à centrifugação para separação das gomas hidratadas do óleo. Finalmente, as amostras serão desumificadas em estufa a 100 °C durante 6 horas e liberadas para análises. A Figura 8 destaca o tratamento das amostras de óleo por degomagem aquosa.

Figura 8: Degomagem aquosa do óleo de pequi.



Fonte: Autoria Própria (2021).

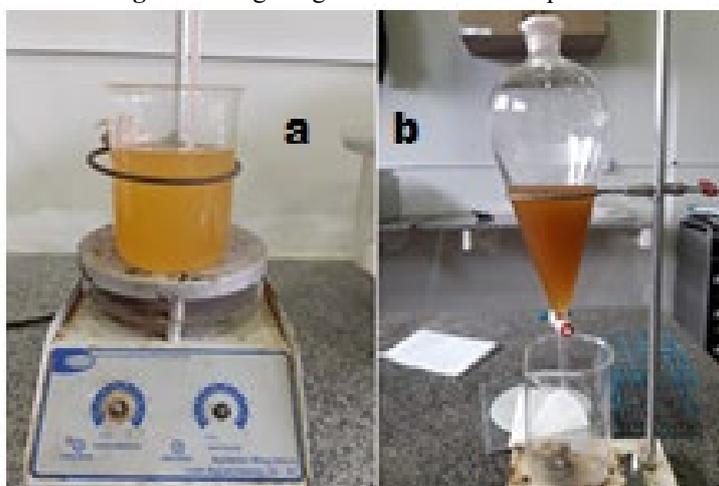
DEGOMAGEM ÁCIDA

Os óleos vegetais de palma e de pequi foram tratados pela técnica de degomagem ácida. As amostras foram aquecidas até 70°C durante 30 minutos numa chapa de aquecimento e adicionados lentamente 5% de ácido fosfórico em relação à massa base do óleo bruto. Em seguida a mistura foi adicionada em um funil de decantação para separação de fases. Após a separação, o óleo foi submetido à centrifugação durante 20 minutos a 3300 rpm numa centrífuga marca RAF:55400, modelo 206 BL da Fanem. Posteriormente as amostras foram submetidas a uma segunda decantação e neutralizadas com solução alcalina de hidróxido



de sódio a $0,2 \text{ Mol. L}^{-1}$ e submetidas a uma terceira decantação. Finalmente foram desumificadas e liberadas. A Figura 9 ilustra o ensaio de degomagem ácida do óleo de palma.

Figura 9: Degomagem ácida do óleo de palma.



Legenda:

Figura 6a: antes da adição de H_3PO_4 ; Figura 6b: após adição de H_3PO_4 .

Fonte: Aatoria Própria (2021).

PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DE PEQUI TRATADO

As amostras do óleo de pequi tratadas por degomagem aquosa e ácida foram submetidas isoladamente, ao processo de transesterificação básica tradicional para obtenção de biodiesel por rota metílica.

A produção de biodiesel foi realizada num balão de fundo chato, com capacidade de 500 mL, acoplado em um sistema de refluxo como mostra a Figura 10.

Em um experimento típico, 0,7g do catalisador NaOH, dissolvido em 71,5g (2,2340 mol) do agente transesterificante, metanol, foram adicionados a 70,0 g (0,2482 mol) do óleo de partida (pequi). A razão molar entre a massa base do óleo e o metanol (MeOH) residiu em 1:9 (uma parte de óleo para 9 partes do MeOH) e 1% do catalisador em relação à massa do óleo de pequi. O sistema foi mantido em agitação magnética rigorosa ao longo do processo. O tempo reacional consistiu de 60 minutos e a temperatura, de $70 \text{ }^\circ\text{C}$.



Figura 10: Transesterificação homogênea básica do óleo de pequi.



Fonte: Autoria Própria (2021).

A mistura reacional foi adicionada em um funil de decantação para separação de fases. A fase inferior, glicerosa (subproduto), foi descartada e a fase superior (mistura de ésteres metílicos) foi lavada com água acidulada de ácido sulfúrico (H_2SO_4 a $0,01 \text{ Mol. L}^{-1}$) e posteriormente, com água aquecida até que o produto final ficasse límpido. A Figura 11 mostra a etapa de purificação das amostras de biodiesel obtidas a partir do óleo de pequi tratado por degomagem aquosa.

Figura 11: Separação e purificação do biodiesel obtido do óleo de pequi.



Fonte: Autoria Própria (2021).

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização físico-química revelada para o óleo de Palma in natura (bruto).



Tabela 1: Caracterização físico-química do óleo de palma in natura.

AMOSTRAS	PARÂMETROS DE CONTROLE DE QUALIDADE			
	H ₂ O (%)	IA (mg KOH.g ⁻¹)	AGL (%A.O)	I _s (mg KOH.g ⁻¹)
AM1	0,89	23,17	11,92	113,49
AM2	0,49	23,56	11,84	134,53
AM3	1,00	23,52	11,82	135,88

Fonte: Autoria Própria (2021).

Na Tabela 1, observa-se que os principais parâmetros que permitem um óleo estar propício para o processo de transesterificação, ou seja, teor de ácidos graxos (AGL) e teor de umidade (% H₂O) estão acima do limite permitido (AGL ≤0,5%) e (H₂O no máx. 0,25%). Diante do exposto partiu-se para um tratamento do óleo por degomagem aquosa e por degomagem visando-se adequar o referido óleo para o processo de transesterificação homogênea ácida e logicamente converter o óleo de palma em biodiesel.

DEGOMAGEM AQUOSA DO ÓLEO DE PALMA

A Tabela 2 mostra os resultados revelados para o óleo de palma quando tratado por degomagem aquosa.

Tabela 2: Caracterização físico-química do óleo de palma tratado por degomagem aquosa.

Amostras	Parâmetros de controle de qualidade			
	H ₂ O(%)	IA(mg KOH/g)	AGL (%A.O)	I _s (mg KOH/g)
AM1	-	3,07	1,54	
AM2	-	3,08	1,54	113-135
AM3	-	3,05	1,52	
Média	-	3,06 (±0,17)	1,53 (±0,09)	128 (±1,38)

Fonte: Autoria Própria (2021).

As amostras foram tratadas previamente pela de degomagem aquosa. Por questões técnicas não foram realizados os ensaios de umidade. Em termos de teor de AGL, ao comparar-se a Tabela 2 com a Tabela 1 verifica-se que houve uma redução do teor de ácidos graxos livres numa faixa de 85%.

A Tabela 3 mostra os resultados revelados para o óleo de palma quando tratado por degomagem ácida.



Tabela 3: Determinação do índice de acidez das amostras tratadas por degomagem aquosa.

Amostras	Parâmetros de controle de qualidade			
	H ₂ O(%)	IA(mg KOH/g)	AGL (%A.O)	Is (mg KOH/g)
AM1	-	3,44	1,92	113-135
AM2	-	3,08	1,90	
AM3	-	3,44	1,92	
Média	-	3,32 (±0,85)	1,91 (±0,25)	128 (±1,38)

Fonte: Autoria Própria (2021).

As amostras do óleo de palma também foram tratadas previamente pela de degomagem ácida. Comparando-se a Tabela 3 com a Tabela 1 verifica-se que houve uma redução do teor de ácidos graxos livres (AGL) numa faixa de 84%. Ao compararem-se as Tabelas 2 e 3 verifica-se que ambas foram eficientes para reduzirem drasticamente o teor de AGL, porém, não foram eficazes ao ponto de deixarem o $AGL \leq 0,5\%$. Os resultados revelados nos levam a inferir que se faz necessário melhorar as condições reacionais das referidas técnicas, como por exemplo, elevar o tempo de reação ambos os casos e provavelmente controlar o pH do meio ácido aumentando-se a concentração de hidróxido de sódio.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO DE PEQUI IN NATURA

A Tabela 4 apresenta os resultados da caracterização físico-química revelada para o óleo de pequi na sua forma in natura.

Tabela 4: Caracterização físico-química do óleo de pequi.

AMOSTRAS	PARÂMETROS DE CONTROLE DE QUALIDADE				
	H ₂ O (%)	IA (mg KOH.g ⁻¹)	AGL (%A.O)	I _s (mg KOH.g ⁻¹)	D (Kg.m ⁻³)
AM1	0,97	6,07	3,48	260	0,924
AM2	0,98	7,07	3,55	260	0,924
AM3	0,97	6,31	3,17	260	0,924
Média	0,97	6,48	3,40	260	0,924
Desvio padrão	± 0,05	± 0,52	± 0,20	± 0,00	± 0,00

Fonte: Autoria Própria (2021).

Os principais parâmetros que podem contribuir negativamente para a conversão do óleo em biodiesel são o teor de ácidos graxos livres e o teor de água. O ideal é que a matéria-prima oleaginosa seja isenta de água ou contenha no máximo 0,25 % H₂O e teor de ácidos graxos, menor ou igual a 0,5% ($AGL \leq 0,5\%$). A Tabela 4 indica que o óleo de pequi não está propício para a produção de biodiesel. Neste sentido, realizou o tratamento prévio pelo método de degomagem ácida e aquosa respectivamente, visando a redução do teor de AGL.



O índice de acidez é um parâmetro de qualidade que indica a quantidade de ácidos graxos livres originários da hidrólise dos glicerídeos. Um elevado teor de AGL é indicativo de que o óleo está sofrendo quebra nas cadeias dos gliceróis, liberados os seus principais constituintes. Segundo Vieira et al. (2017), a acidez dos óleos tende a aumentar com o prolongamento de seu armazenamento em face de ocorrer oxidação dos ácidos graxos livres, podendo comprometer o seu aroma, cor e sabor, devido ao processo de rancidez dos mesmos. Neste sentido, os altos valores de acidez encontrados na Tabela 4 podem estar relacionados com o tempo de armazenamento das amostras (4 meses) e também com a maneira rudimentar pela qual óleo foi extraído.

No tocante ao teor de umidade verificou-se que houve uma redução considera de água na faixa de 15,5 a 46,3 %. Neste sentido, o processo de desumidificação precisa ser melhorado também para o óleo de pequi se torne propício para o processo de transesterificação por catálise homogênea básica e conseqüentemente, coloque o biodiesel na rota de excelência de energia limpa garantindo produtividade e competitividade sustentável e ambiental.

As Tabelas 5 e 6 destacam os resultados obtidos no decorrer dos ensaios de caracterização do óleo de pequi tratado pelas técnicas de degomagem ácida e por degomagem aquosa.

Tabela 5: Caracterização do óleo de pequi tratado por degomagem aquosa.

AMOSTRAS	PARÂMETROS DE CONTROLE DE QUALIDADE			
	H ₂ O (%)	IA (mg KOH.g ⁻¹)	AGL (%A.O)	I _s (mg KOH.g ⁻¹)
AM1	0,75	2,07	1,03	260
AM2	0,48	2,19	1,09	260
AM3	0,52	2,12	1,06	260
Média	0,58 (±0,35)	2,13 (± 0,09)	1,06 (± 0,07)	260 (± 0,00)

Fonte: Autoria Própria (2021).

Comparando-se a Tabela 4 em relação à Tabela 5 verifica-se que o teor de ácidos graxos livres foi reduzido em cerca de 69 % (ao passar de 3,40% ± 0,20 para 1,06% ±0,07) indicando que o tratamento de esterificação foi efetivo, porém, não eficaz o suficiente para tornar o óleo de pequi dentro das especificação que permitem o óleo de pequi estar apto para o processo de transesterificação.



Tabela 6: Caracterização do óleo de pequi tratado por degomagem ácida.

AMOSTRAS	PARÂMETROS DE CONTROLE DE QUALIDADE			
	H ₂ O (%)	IA (mg KOH.g ⁻¹)	AGL (%A.O)	I _s (mg KOH.g ⁻¹)
AM1	0,95	1,65	0,83	260
AM2	0,78	2,18	1,09	260
AM3	0,72	2,16	1,10	260
Média	0,82 (±0,35)	1,96 (± 0,09)	1,00 (± 0,15)	260 (± 0,00)

Fonte: Autoria Própria (2021).

Analogamente, em relação aos resultados revelados para o óleo de pequi durante o tratamento de degomagem ácida observam-se uma redução de 70,5 % de ácidos graxos livres. Um $AGL \geq 0,5\%$ pode inativar o catalisador e gerar sais de ácidos graxos (sabão) e reduzir a geração de biodiesel. Castro (2019). Embora a redução seja significativa, o tratamento do óleo *in natura* através do refino por degomagem, seja aquosa, seja ácida, não atingiu a especificação desejada na ordem de 0,5% nas amostras analisadas, indicado que a rota reacional do refino por degomagem precisa ser adequada visando à redução do teor de ácidos graxos ainda mais.

A produção de biodiesel a partir do óleo de pequi foi realizada em duas etapas com o óleo tratado por degomagem aquosa e por degomagem ácida, cujo objetivo foi reduzir o teor de ácidos graxos livres e de umidade com a adição de sais secantes. A Tabela 7 ilustra o teor de ésteres metílicos contido nas amostras dos biodieseis.

Tabela 7: Percentual de conversão do óleo de pequi em biodiesel

Amostras	Conversão do óleo de pequi refinado por degomagem em biodiesel (%)	
	Biodiesel por degomagem aquosa	Biodiesel por degomagem ácida
Pequi Bio 1	82,6	76,5
Pequi Bio 2	87,7	81,2
Pequi Bio 3	89,6	80,0

Fonte: Autoria Própria (2021).

Os ensaios da caracterização do biodiesel foram realizados pela técnica de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) através da parceria do GPAQS com o Laboratório da Intertek do Brasil, unidade Porto do Itaqui em São Luís-MA.

Na Tabela 7 observam-se que a conversão do óleo de pequi em ésteres metílicos de ácidos graxos indicaram resultados significativos, porém, tais valores ainda se encontram abaixo da especificação da ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) conforme a Resolução ANP n. 45 de 25/08/2014, cujo teor específico para ésteres metílicos ou etílicos reside na faixa de 96,5%, indicando o controle reacional para transesterificação do óleo refinado por degomagem ácida ou aquosa deve ser ajustado.



CONCLUSÃO

As matérias-primas graxas empregadas neste trabalho apresentaram elevadores teores de AGL e H₂O. Este fato as torna impróprias para a obtenção de biodiesel ambientalmente sustentável e competitivo em relação ao diesel fóssil.

Os óleos de pequi e de palma foram refinados pela técnica de degomagem aquosa e ácida visando uma produtividade e competitividade eficaz do biodiesel obtido, determinantemente efetiva. Embora o refino tenha sido eficaz, não foi capaz de produzir um efeito real, por extensão eficiente como esperado.

Tanto o tratamento dos óleos por degomagem aquosa, quanto por degomagem ácida não foram capazes de reduzir o teor de AGL $\leq 0,5\%$ e nem H₂O $\leq 0,25\%$. Em termos proporcionais, a purificação por ambas as técnicas de degomagem atingiram o mesmo patamar. Neste sentido, pode-se inferir que a rota reacional de refino por degomagem necessita de ajustes para tornar os óleos estudados propícios para o processamento de biodiesel por transesterificação homogênea básica.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Resolução 045 de 25 de novembro de 2014. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em julho de 2021.

AZEVEDO, A. S. **Clarificação e desodorização do óleo de babaçu (*Orbignya speciosa*) para fins comestíveis**. Monografia (Graduação em Tecnologia de Alimentos) – Instituto Federal do Maranhão. Zé Doca, 41f. Zé Doca, 2014.

CASTRO, W.S. **Extração e preparação do óleo de gongo (*Pachymerus nucleorum*) para obtenção de biodiesel por rota metílica**. Zé Doca, 2019, 47f. Graduação (Licenciatura em Química) – Instituto Federal do Maranhão – Campus-Zé Doca, 2019.

DRELINKIEWICZ, A. et al. **Organosulfonic acid doped polyaniline solid acid catalyst as basic for the formation of esters bio-in reaction of esterification and transesterification**. Journal Fuel, vol.116, p 760-771, 2014.

ENCINAR, J. M.; SANCHEZ, N. G.; GARCIA, M. L. **Study of biodiesel production from animal fats with free fatty acid content**. Bioresource Technology, v.102, p. 10907-10914, 2011.

ENGELMANN, J. I. **Estudo das etapas de degomagem e neutralização do óleo de farelo de arroz**. TCC (Graduação em Engenharia de Alimentos). Bagé (RS), 2015, 77f. TCC (Graduação em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal do Pampa, Bagé (RS), 2015.



INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz, vol. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos – óleos e gorduras.** 5 ed. São Paulo, IMESP, 2005.

MELO, Patrícia C. et al. **Avaliação termogravimétrica dos óleos (amêndoa e mesocarpo) da macaúba (*Acronomia aculeata*) para produção de biodiesel.** In: Anais do 5º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel e 8º Congresso de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 5, 2012, Salvador (BA). **Anais...** Salvador: RBTB, 2012.

MORETTO, E; ALVES, R. F. **Óleos e gorduras: processamento e análise.** Florianópolis: Ed. da UFSC, 1986.

PENEDO, P. L. M.; COELHO, G. L. V. **Efeito da degomagem na desacidificação de óleo de soja com CO_2 supercrítico.** *Revista de Ciências Exatas* 18.1/2 (2013).

SILVA, D.S.; ARRUDAS, S. R.; RODRIGUES, M. T. S. **Avaliação do refino de óleo de babaçu (*Attalea vitrivir*) e buriti (*Mauritia flexuosa*) pelos processos de degomagem ácida e aquosa.** In: 9º FORUM DE ENSINO, PESQUISA, EXTENSÃO E GESTÃO (FEPEG), Belo Horizonte (MG), 23 a 26 de setembro de 2015.

TECNOLOGIAS BIOENERGÉTICAS. **Procedimento operacional padrão da Brasil Ecodiesel – Análise do controle de Qualidade,** 30p, 2008.

VEIRA, J. S. C.; SOUSA, T. L.; ROSAS, L. S.; LIMA, A. L.; RONCONI, C. M.; MOTA, C. J. A. **Esterificação e transesterificação homogênea de óleos vegetais contendo alto teor de ácidos graxos livres.** *Quim. Nova*, vol. 41, n. 1, p.10-16, 2017.

VIEIRA, J. S. C. et al. **Clarificação e desodorização de óleo vegetal de babaçu (*Orbignya speciosa*) para fins alimentícios.** *Braz. J. of Develop.*, vol 6, nr. 9, p67489-67498, 2020.

VIEIRA, J.S.C. **Síntese de catalisadores heterogêneos ácidos e básicos para a produção de biodiesel.** Rio de Janeiro, 2017, 144f. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos. Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.



CAPÍTULO 23

CLASSIFICAÇÃO DE PNEUMONIA VIA IMAGENS DE RADIOGRAFIA DE TÓRAX USANDO REDES NEURAS CONVOLUCIONAIS

Yan Teixeira da Silva
Jefferson Oliveira Andrade
Karin Satie Komati

RESUMO

Pneumonia é uma doença caracterizada pela inflamação dos pulmões. A radiografia de tórax é um dos exames mais solicitados nas unidades de saúde para fins de diagnóstico por imagem desta doença. No entanto, segundo o conselho regional de medicina de São Paulo, os resultados da prova voluntária que aplica aos alunos recém formados em curso de medicina do estado, 80% dos médicos recém formados não sabiam interpretar uma radiografia e erram a conduta terapêutica do paciente. Assim, é importante investigar soluções automáticas de auxílio ao diagnóstico. A proposta deste projeto é estudar diferentes arquiteturas de redes neurais convolucionais para classificação de radiografias do tórax. São comparados 4 modelos de arquiteturas, sendo duas para classificação binária: normal e com pneumonia, e outros 2 modelos para classificação multi-classes: normal, com pneumonia bacteriana e com pneumonia viral. Na classificação binária, o aumento do número de camadas, aumentando de 2 para 10, melhorou o resultado da acurácia de 0,59 para 0,91. Na classificação multi-classes, o aumento de 3 para 5 camadas convolucionais aumentou a acurácia de 0,7 para 0,84. A base de dados dos experimentos é a Chest X-Ray Images.

PALAVRAS-CHAVE: Chest X-Ray Images; pneumonia bacteriana; pneumonia viral.

INTRODUÇÃO

Pneumonia é uma doença caracterizada pela inflamação dos pulmões, cuja causa geralmente é uma infecção viral ou bacteriana de gravidade variável (BVS, 2011). Em todo o mundo a pneumonia afeta cerca de 450 milhões de pessoas por ano (7% da população) e representou a causa de 2,5 milhões de mortes, incluindo 672 mil crianças, em 2019 (EVERY BREATH COUNTS, 2020). Nos países em desenvolvimento, entre pessoas de idade avançada, recém-nascidos e em doentes crônicos, a pneumonia constitui uma das principais causas de morte. No Brasil, entre 2015 e 2017, oito em cada dez mortes por pneumonia foram de idosos, o que corresponde a mais de 80% das mortes pela doença (ANAHP, 2019). Nesse período, foram registrados cerca de 200 mil óbitos por causa da doença, uma média de 66,5 mil casos por ano, ou sete por hora.

As principais manifestações clínicas da pneumonia são tosse com produção de expectoração; dor torácica, que piora com os movimentos respiratórios; mal-estar geral; falta de ar e febre (SETHI, 2020). A pneumonia pode ser adquirida pelo ar, saliva, secreções,



transusão de sangue ou, durante a estação do inverno, devido às mudanças bruscas de temperatura, que comprometem o funcionamento dos pelos do nariz responsáveis pela filtragem do ar aspirado. Os pacientes que apresentam casos graves, demandam internação em Unidades de Terapia Intensiva (UTIs) que possuem equipamentos de ventilação mecânica que colaboram com o tratamento.

O diagnóstico é realizado com base nos sintomas, exame físico, análise bioquímica, análise microbiológica e radiológica, sendo geralmente a radiografia de tórax que é um elemento-chave no diagnóstico (apresenta características que podem ajudar a distinguir os diferentes tipos de pneumonia) (NEY-OLIVEIRA et al., 2005). Usualmente, médicos analisam padrões radiológicos específicos associados a dados clínicos e laboratoriais para diferenciar a pneumonia entre etiologia viral e bacteriana (BALDACCI, 2003). Radiografias que apresentam doença localizada com consolidações geralmente indicam uma infecção por bactérias, entretanto, exames que apresentam um padrão intersticial ou espessamento peribrônico tendem a ser uma infecção de origem viral.

A radiografia de tórax é um dos exames mais solicitados nas unidades de saúde para fins de diagnóstico por imagem. Isso se deve provavelmente devido à maior facilidade na execução do método, na rápida obtenção da imagem após o exame e pelo baixo custo. No entanto, segundo o Conselho Regional de Medicina de São Paulo (CRM-SP), em matéria publicada no dia 8 de fevereiro de 2017 (CREMESP, 2017), os resultados da prova voluntária que aplica aos alunos recém formados em curso de medicina do estado, de 80% dos médicos recém formados não sabem interpretar uma radiografia e erram a conduta terapêutica do paciente.

Um diagnóstico rápido confiável se torna imprescindível para o tratamento eficaz. Desta forma, o atual trabalho propõe uma investigação sobre a classificação automática de imagens de radiografia de tórax. Para tal, escolheu-se o uso do método de redes neurais convolucionais (CNN, do inglês Convolutional Neural Network), por apresentar bons resultados em classificação de imagens, desde a sua proposição em 1998 pelo cientista Yann LeCun, que propôs uma arquitetura capaz de reconhecer dígitos manuscritos com precisão de 99,2% (LECUN et al., 1998). Uma das questões em aberto neste método é qual é a melhor arquitetura de rede neural para uma determinada tarefa (ELSKEN; METZEN; HUTTER, 2019). Assim, são realizados 4 experimentos, cada uma com arquitetura de rede neural, duas delas aqui denominadas por Modelo A1 e Modelo A2 são avaliadas para uma classificação binária de imagem de radiografia do tórax, classificado em normal e pneumonia. As outras duas,



denominadas de Modelo B1 e Modelo B2 são avaliadas para classificação multi-classe: normal, pneumonia bacteriana e pneumonia viral. A base de dados é a Chest X-Ray Images (Pneumonia) (KERMANY et al., 2018) e as métricas usadas para comparação são a acurácia, precisão e revocação.

A estrutura do texto a seguir é dividida em 4 seções: o “Referencial Teórico” em que cada elemento da arquitetura de uma rede neural convolucional é explicada, a seção de “Material e Métricas” apresenta os detalhes da base de dados e as métricas utilizadas para a comparação dos resultados das classificações, a seção de “Experimentos, Resultados e Discussão” que apresenta os 4 modelos, os seus resultados e discutimos sobre os mesmos e ao final, a seção de “Considerações Finais” em que avaliamos se o objetivo foi alcançado e os trabalhos futuros vislumbrados para a continuação da pesquisa.

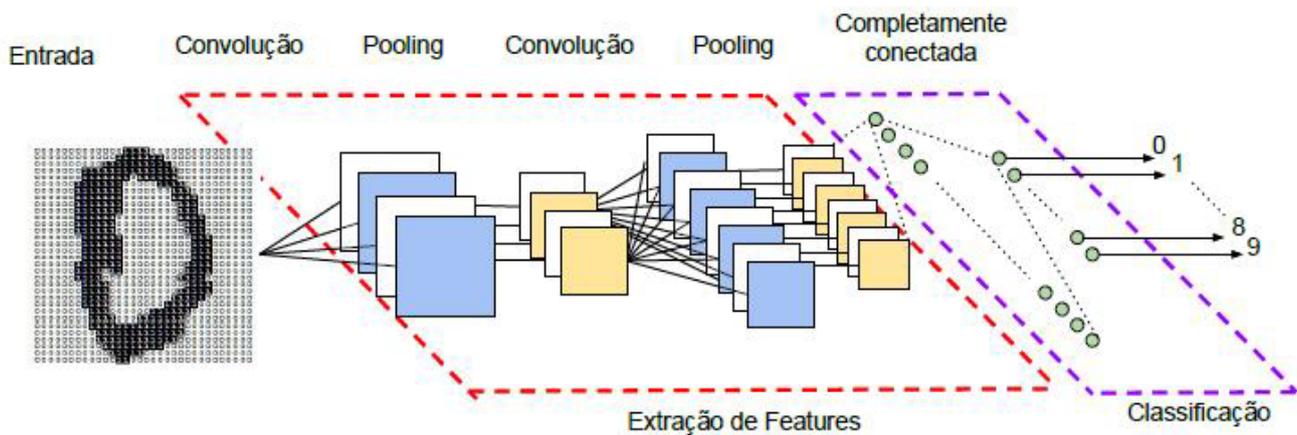
REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção é explicado o que é e como funciona uma rede neural artificial convolucional. Uma CNN é um tipo de técnica de aprendizado de máquina, que é fundamentalmente a utilização de algoritmos na construção de modelos matemáticos baseado em dados (FACELI et al., 2011). Esses modelos treinados são usados posteriormente para fazer inferências a partir de novos conjuntos de dados.

As CNNs são compostas por várias camadas de processamento de imagens que realizam tarefas a fim de detectar características e em sequência classificar de acordo com as saídas esperadas. A Figura 1 apresenta uma arquitetura básica com as camadas, a imagem de entrada é um dígito 0 (zero) manuscrito. As camadas de convolução (apresentados como quadrados azuis e brancos intercalados) e *pooling* (apresentados amarelos e brancos intercalados) fazem a extração de características e este conjunto de duas camadas foi repetido duas vezes em sequência. Ao final, tem-se a classificação da imagem de entrada feita pela camada completamente conectada (apresentado como círculos verdes conectados) com uma última camada de saída com 10 elementos. A saída neste exemplo ilustrativo é qual é o dígito reconhecido entre 0 à 9.



Figura 1: Modelo básico de uma Rede Neural Convolutiva.



Fonte: Vargas, Paes e Vasconcelos (2016).

A camada de *pooling* (subamostragem) diminui o tamanho da informação, por isso os quadrados amarelos/brancos são menores que os quadrados azuis/brancos na figura. Ao término das camadas de extração de características, há uma conversão das informações 2D para 1D, e é por isso que os quadrados -- matrizes -- se tornam vetores. A seguir serão descritos como é o funcionamento de cada camada.

A camada convolutiva da rede neural é responsável por capturar informações de importância da imagem realizada através da operação de convolução, que são filtros de processamento de imagens. A operação de convolução usa uma matriz menor, denominada de *kernel*, que percorre a imagem (matriz de entrada) e gera um mapa de características. O objetivo da função não linear a ser aplicada é para que a rede consiga analisar correlações não lineares e que só podem ser detectadas por funções de ativação não lineares. As funções não lineares mais comuns no uso da CNN são: degrau, tangente hiperbólica, sigmóide, softmax. ReLU (Rectified Linear Unit) e suas variações. Softmax é uma generalização da função sigmóide para casos não-binários.

Em uma CNN é importante adicionar uma camada chamada *pooling* após a camada de convolução para reduzir o tamanho espacial do mapa de características. A camada de *pooling* reduz a necessidade de processamento da rede já que diminui a quantidade de características a serem analisadas e aumenta a precisão em analisar características mais importantes da imagem, pois as características extraídas nesta camada serão as que tiverem o valor dominante. Os dois tipos mais comuns são: **maxpooling** (retorna o valor máximo do trecho selecionado pelo filtro) e **averagepooling** (retorna a média do trecho selecionado pelo filtro). É muito comum o uso de algumas camadas de convolução+subamostragem seguidas.

Flatten (achatamento) é a operação de transformação da matriz do mapa de



características em uma única coluna, um vetor com resultados das características extraídas, esse resultado é que são utilizados para alimentar o treinamento da rede neural totalmente conectada. A camada totalmente conectada de uma CNN funciona da mesma forma de uma rede neural artificial clássica (O'SHEA; NASH, 2015). Para que a rede aprenda, precisamos comparar o valor de saída com o valor real, e haverá uma diferença entre os dois. Com a diferença dos valores é aplicada uma função de custo, que indica o erro da previsão da RNA. Dentre as várias funções de custo existentes, uma comumente usada é a função do erro quadrático médio. Os pesos de cada neurônio podem ser ajustados na fase de treinamento baseado no erro do resultado final. Depois de ajustá-los, executa-se novamente a rede, e um novo valor da função de custo será calculado, esperançosamente, menor que o anterior. Cada ciclo de todo o conjunto de dados de treinamento é chamado de época. A quantidade de ciclos/épocas deve ser o suficiente para que a função de custo atinja um valor mínimo. Após a fase de treinamento, segue-se para a fase de teste.

A função de ativação softmax recebe entradas não normalizadas e mapeia em um conjunto de probabilidades. É geralmente usada em redes neurais para classificação de duas classes ou mais. Definindo a probabilidade de uma classe num problema multiclases.

MATERIAL E MÉTRICAS

Nesta seção detalha-se a base de dados Chest X-Ray Images, bem como as métricas de acurácia, precisão e revocação usadas para comparação dos resultados dos modelos de classificação.

BASE DE DADOS CHEST X-RAY IMAGES

Para realização do trabalho foi utilizado a base de dados Chest X-Ray Images disponibilizado na plataforma Kaggle (KAGGLE, 2018). São 5.856 imagens de Raio-X em formato JPEG. Imagens de radiografia de tórax foram selecionadas de pacientes pediátricos de um a cinco anos de idade do Guangzhou Women and Children's Medical Center, em Guangzhou. Todas as radiografias de tórax foram realizadas como parte do atendimento clínico de rotina dos pacientes. Os diagnósticos das imagens foram classificados por dois médicos especialistas e a fim de contabilizar eventuais erros de classificação, o conjunto de avaliação também foi verificado por um terceiro especialista. A Figura 2 apresenta um exemplo de cada classe normal, pneumonia bacteriana e pneumonia viral.



Figura 2: Exemplos da base de dados para cada classe.



Fonte: Kermany et al., 2018.

O conjunto de dados é organizado em 3 pastas: treinamento, teste e validação (train, test, val) e contém subpastas para cada categoria de imagem (Pneumonia/Normal). Na base de treino há 1.341 imagens da classe normal e 3.875 com pneumonia; na validação: 8 normal e 8 pneumonia e na de teste: 234 normal e 390 com pneumonia. Nas pastas das imagens com pneumonia (seja na de treino, validação ou testes), o nome do arquivo contém a informação se a pneumonia é viral ou bacteriana. A Figura 3 apresenta 10 imagens da base de dados com seus nomes de arquivos associados. É possível verificar que a palavra “virus” e “bacteria” fazem parte do nome do arquivo e com isso, é possível verificar qual tipo de pneumonia a imagem foi classificada.

Figura 3: As imagens da base de dados e os seus nomes de arquivos.



Fonte: Kermany et al., 2018.

MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO

Matriz de confusão, segundo Mena (2012), é uma tabela usada para representar os resultados da classificação, refletindo o desempenho de um algoritmo de classificação ao ser executado. Geralmente, as colunas da matriz representam as classes classificadas ou previstas pelo sistema, enquanto as linhas indicam as instâncias da classe real, mas esta ordem pode ser invertida. A Tabela 1 apresenta um exemplo de matriz de confusão de duas classes, normal e pneumonia.



Tabela 1: Um exemplo de matriz de confusão de duas classes.

		PREVISTO	
		NORMAL	PNEUMONIA
Real	NORMAL	208	26
	PNEUMONIA	341	49

Fonte: A autoria própria, 2022.

No exemplo, há 624 elementos no total, sendo 234 da classe normal e 390 com pneumonia. Sendo que 208 foram classificados pelo sistema (preditas) corretamente como normal (verdadeiro positivo - VP), e 341 imagens foram incorretamente classificadas como normal e eram da classe pneumonia (falso negativo - FN). Apenas 49 imagens foram classificadas corretamente com pneumonia (verdadeiro negativo - VN) e 26 imagens foram preditas da classe pneumonia, mas eram da classe normal (falso positivo - FP).

Em uma matriz de confusão pode-se gerar valores estatísticos para visualizar as taxas de acertos referentes às classificações. A acurácia é calculada dividindo a soma da diagonal principal da matriz de confusão pela soma de todos os elementos da matriz. No exemplo, $(208+49)/(624)$, que resulta em 0,41.

A métrica de precisão pode ser vista como uma resposta à pergunta: “dados todas as classes previstas (para uma determinada classe X), quantas instâncias foram previstas corretamente?”. Para cada classe, é definido como a proporção de verdadeiros positivos pela soma de verdadeiros e falsos positivos, ou seja: $\text{precisão} = \text{VP}/(\text{VP} + \text{FP})$. Para a classe normal do exemplo, $208/(208+341)$, ou seja 0,38 ou 38%. Para a classe pneumonia seria 0,49, resultado de $49/(49+26)$.

A revocação é uma medida da integridade do classificador onde vai medir a capacidade de encontrar corretamente todas as instâncias positivas. Para cada classe, é definido como a proporção de verdadeiros positivos para a soma de verdadeiros positivos e falsos negativos, ou seja, quantos desta classe você encontra em todo o número de elementos desta classe: $\text{revocação} = \text{VP}/(\text{VP} + \text{FN})$. Para a classe normal do exemplo, $208/(208+26)$, ou seja 0,89 ou 89%. Para a classe pneumonia seria 0,12, resultado de $49/(49+341)$.

Para uma matriz de confusão multi-classes, a quantidade de linhas e colunas é a quantidade das diferentes classes. A Tabela 2 apresenta um exemplo de matriz de confusão para



3 classes: normal, bacteriana e viral. No exemplo, a acurácia é a soma da diagonal (118+199+120) dividido por 624, que é 0,7.

Tabela 2: Exemplo de matriz de confusão para 3 classes.

		PREVISTO		
		NORMAL	BACTERIANA	VIRAL
Real	NORMAL	118	18	98
	BACTERIANA	5	199	38
	VIRAL	2	26	120

Fonte: Autoria própria, 2022.

Do ponto de vista da classe normal: VN é 118; FP = 7 = (5 + 2), que são as amostras das outras duas classes que foram classificadas como normal; FN = 116 = (18 + 98), que são as amostras da classe normal, mas classificadas incorretamente como bacteriana e viral; VN = 383 = (199 + 38 + 26 + 120), a soma de todos os valores na matriz, exceto os da coluna 1 e da linha 1 referente à classe normal. Assim, a revocação = $VP/(VP + FN) = 118/(118+116) = 0,50$ e a precisão = $VP/(VP + FP) = 118/(118+7) = 0,94$.

EXPERIMENTOS, RESULTADOS E DISCUSSÃO

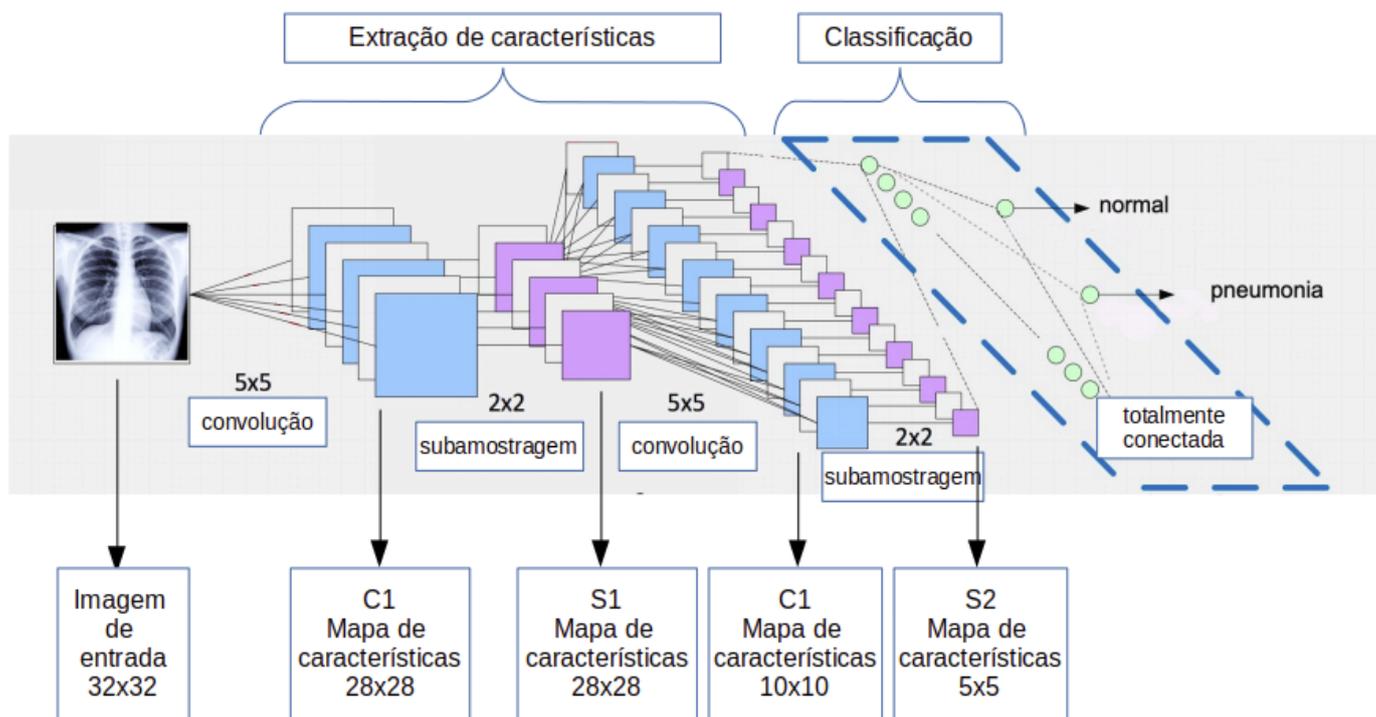
Para o desenvolvimento foi utilizado a linguagem de programação Python3, a biblioteca Keras para arquitetura de redes neurais, Jupyter Notebook como ambiente computacional e o serviço Google Colab para agilizar o treinamento de modelos.

MODELO A1

A arquitetura proposta no Modelo A1 (Figura 4) é um modelo rede neural convolucional com duas camadas de convolução e uma camada de subamostragem o tipo **maxpooling** entre elas, seguida de uma camada do tipo **flatten** que transforma os mapas de características resultantes das convoluções passadas em um vetor, por fim duas camadas de saída totalmente conectada (**fully connected**) que utiliza duas funções de ativação, respectivamente ReLU e Sigmoid com um neurônio de saída. A matriz de confusão do Modelo A1 é apresentada na Tabela 3 e as métricas de classificação na Tabela 4.



Figura 4: Arquitetura do Modelo A1.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 3: Matriz de Confusão do Modelo A1, acurácia de 0,41.

PREVISTO

		NORMAL	PNEUMONIA
Real	NORMAL	208	26
	PNEUMONIA	341	49

Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 4: Resultado da classificação binária com o Modelo A1.

	precisão	revocação	quantidade
0 (normal)	0,38	0,89	234
1 (pneumonia)	0,65	0,12	390

Fonte: Autoria própria, 2022.

Neste primeiro modelo, o resultado obtido foi crítico na predição de pneumonia de imagens de raio X, devido a uma precisão muito baixa para o caso "normal", o que representa uma grande quantidade de doentes sendo erroneamente diagnosticados como saudáveis, a



métrica de revocação do caso de pneumonia demonstra que o modelo quase não é capaz de diagnosticar a classe pneumonia.

MODELO A2

No Modelo A2 foram adicionadas oito camadas convolucionais com uma camada de subamostragem do tipo **maxpooling** a cada duas camadas ao Modelo A1. A camada **flatten** foi mantida, bem como as camadas totalmente conectadas. Alterando somente a função de ativação da última camada de saída, substituindo a sigmóide, usada no Modelo A1 pela **softmax** com 2 neurônios de saída. A matriz de confusão do Modelo A2 é apresentada na Tabela 5 e as métricas de classificação na Tabela 6.

Tabela 5: Matriz de Confusão do Modelo A2, acurácia de 0,90.

		PREVISTO	
		NORMAL	PNEUMONIA
Real	NORMAL	195	39
	PNEUMONIA	18	372

Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 6: Resultado da classificação binária com o Modelo A2

	precisão	revocação	quantidade
0 (normal)	0,92	0,83	234
1 (pneumonia)	0,91	0,95	390

Fonte: Autoria própria, 2022.

Este modelo alcançou resultados bem melhores em relação ao Modelo A1. O modelo alcançou uma acurácia de 0,90, e precisão acima de 0,9 nas duas classes. A revocação também apresentou resultados melhores que o Modelo A1. O grande problema é o valor de 18, que são as imagens classificadas como normais que tem pneumonia, significa que 18 pessoas poderiam receber alta, quando estavam com a doença.

MODELO B1

O Modelo B1 é uma arquitetura de rede neural convolucional com 3 camadas convolucionais, com uma camada de subamostragem do tipo **maxpooling** entre as camadas, seguida por uma camada **flatten** e duas últimas camadas totalmente conectadas com função de



ativação a **ReLU** e **Softmax**, respectivamente. A camada de saída tem 3 neurônios por se tratar de um de um problema com 3 classes para classificação, normal, pneumonia bacteriana e pneumonia viral. A matriz de confusão do Modelo B1 é apresentada na Tabela 7 e as métricas de classificação na Tabela 8.

Tabela 7: Matriz de Confusão do Modelo B1, acurácia de 0,70.

		PREVISTO		
		NORMAL	BACTERIANA	VIRAL
Real	NORMAL	118	18	98
	BACTERIANA	5	199	38
	VIRAL	2	26	120

Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 8: Resultado da classificação com o Modelo B1.

	precisão	revocação	quantidade
0 (normal)	0,94	0,50	234
1 (bacteriana)	0,82	0,82	242
2 (viral)	0,47	0,81	148

Fonte: Autoria própria, 2022.

Os resultados obtidos nesta arquitetura não são considerados satisfatórios, principalmente pela alta quantidade de falsos positivos para casos normais, evidenciado pelo valor do revogação de 0,50 encontrado. Além disso, a precisão da classe viral é considerada baixa, de 0,47.

MODELO B2

Para solucionar os problemas com a acurácia e precisão do Modelo B1, projetamos uma nova arquitetura de rede neural, o Modelo B2. Esse modelo é constituído de cinco camadas convolucionais (ao invés das 3 camadas do Modelo B1), com uma camada de subamostragem do tipo **average pool** após a primeira camada convolucional, e nas camadas restantes uma camada de **maxpooling** após cada uma delas, finalizando com a camada **flatten** e as duas camadas totalmente conectadas com as funções de ativação, *ReLU* e *Softmax*, respectivamente.



A matriz de confusão do Modelo B2 é apresentada na Tabela 9 e as métricas de classificação na Tabela 10.

Tabela 9: Matriz de Confusão do Modelo B2, acurácia de 0,84.

		PREVISTO		
		NORMAL	BACTERIANA	VIRAL
Real	NORMAL	218	0	16
	BACTERIANA	4	132	84
	VIRAL	10	33	176

Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 10: Resultado da classificação com o Modelo B2.

	precisão	revocação	quantidade
0 (normal)	0.94	0.93	234
1 (bacteriana)	0.80	0.60	220
2 (viral)	0.64	0.80	219

Fonte: Autoria própria, 2022.

Uma particularidade deste modelo é que durante o treinamento foi percebido que com o passar das épocas, existia um ponto onde o modelo cessava de obter ganhos nas métricas de acurácia em relação às épocas anteriores e começava a ter um desempenho degradante, isso é conhecido como *overfitting*. Para isso foi necessário a implementação de um algoritmo para salvar os pesos do modelo treinado que obteve a melhor acurácia durante as épocas do treinamento.

O Modelo B2 apresentou um desempenho satisfatório em comparação ao Modelo B1, das 234 radiografias diagnosticadas sem alterações apenas 14 (5,98%) radiografias são falsos positivos, o que já demonstra a superioridade do modelo proposto em relação ao Modelo B1, evidenciado pelos altos valores de precisão e revocação para a classe normal (acima de 0,9). O valor da precisão do caso viral melhorou (de 0,47 para 0,64), mas ainda não é considerado um valor suficiente para um sistema ser implantado. E o valor da revocação do caso bacteriano diminuiu com relação ao resultado do Modelo B1.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do trabalho foi alcançado, o de investigar a classificação automática de imagens de radiografia de tórax usando diferentes arquiteturas de redes neurais convolucionais. Pode-se verificar que diferentes arquiteturas de redes neurais convolucionais, mesmo usando a mesma base de dados de treinamento e testes, é possível se chegar a resultados diferentes. A adição de camadas de convolução e o uso de funções ativação podem ser experimentadas para otimização de um desses modelos.

A proposição de arquiteturas é extremamente importante para chegar a um modelo ótimo para cada problema. Como trabalho futuro, pretende-se usar métodos de NAS (Neural Architecture Search) (REN et al., 2021) para encontrar a melhor arquitetura de rede neural para a classificação de pneumonia via radiografias do tórax. Além disso, pretende-se usar uma outra base de dados, a NIH Chest X-rays que possui 112 mil imagens com 13 tipos diferentes de doenças pulmonares, e fazer comparação com trabalhos correlatos.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à bolsa de iniciação científica que recebeu do CNPq para realizar este estudo. A última autora agradece ao CNPq pela Bolsa de Produtividade DT-2 (308432/2020-7) e à FAPES pelo Auxílio Taxa de Pesquisa (nº 293/2021). Todos os autores agradecem ao IFES pelo apoio.

REFERÊNCIAS

ANAHP. **Mais de 80% das mortes por pneumonia no país são de idosos**. 2019. Disponível em: <<https://www.anahp.com.br/noticias/noticias-do-mercado/mais-de-80-das-mortes-por-pneumonia-no-pais-sao-de-idosos/>>. Acesso em 01 de abr. de 2022.

BALDACCI, Evandro R. Que evidências temos para o diagnóstico diferencial inicial entre pneumonia bacteriana e viral?. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 49, p. 232-232, 2003.

BVS. **Pneumonia**. 2011. Disponível em: <<https://bvsmis.saude.gov.br/pneumonia-5/>>. Acesso em: 14 mai. 2022.

CREMESP. **Exame do Cremesp reprova mais da metade dos médicos recém formados**. 2017. Disponível em: <<https://www.cremesp.org.br/pdfs/releasefinal2examecremesp2016.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2022.

ELSKEN, Thomas; METZEN, Jan Hendrik; HUTTER, Frank. Neural architecture search: A survey. **The Journal of Machine Learning Research**, v. 20, n. 1, p. 1997-2017, 2019.



EVERY BREATH COUNTS. **Pneumonia is the world's largest infectious killer – claiming 2.5 million lives, including 672,000 children, in 2019.** 2020. Disponível em: <<https://stopppneumonia.org/issues/>>. Acesso em: 14 mai. 2022.

FACELI, Katti et al. **Inteligência artificial.** Uma Abordagem de Aprendizado de Máquina. Editora LTC, 2011.

KAGGLE. Chest X-Ray Images (Pneumonia). 2018. Disponível em: <<https://www.kaggle.com/datasets/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia>>. Acesso em: 01 mai. 2020.

KERMANY, Daniel S. et al. Identifying medical diagnoses and treatable diseases by image-based deep learning. **Cell**, v. 172, n. 5, p. 1122-1131. e9, 2018.

LECUN, Yann et al. Gradient-based learning applied to document recognition. **Proceedings of the IEEE**, v. 86, n. 11, p. 2278-2324, 1998.

MENA, Marc Escalona. **Emotion recognition from speech signals.** 116 f. Tese (Master's Thesis) — Faculty of Electrical Engineering, Universitat Politècnica de Catalunya, Ljubljana, 2012.

NEY-OLIVEIRA, Fabrizio et al. Relação entre a qualidade do exame clínico e o acerto na requisição da radiografia de tórax. **Radiologia Brasileira**, v. 38, p. 187-193, 2005.

O'SHEA, Keiron; NASH, Ryan. **An introduction to convolutional neural networks.** arXiv preprint arXiv:1511.08458, 2015.

REN, Pengzhen et al. A comprehensive survey of neural architecture search: Challenges and solutions. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, v. 54, n. 4, p. 1-34, 2021.

SETHI, Sanjay. **Considerações gerais sobre pneumonia.** 2020. Disponível em: <<https://www.msmanuals.com/pt-br/casa/dist%C3%BArbios-pulmonares-e-das-vias-respirat%C3%B3rias/pneumonia/considera%C3%A7%C3%B5es-gerais-sobre-pneumonia>>. Acesso em: 14 mai. 2022.

VARGAS, Ana Caroline Gomes; PAES, Aline; VASCONCELOS, Cristina Nader. Um estudo sobre redes neurais convolucionais e sua aplicação em detecção de pedestres. In: **Proceedings of the XXIX conference on graphics, patterns and images.** [S.l.], 2016. v. 1, n. 4.



CAPÍTULO 24

PESQUISA APLICADA: AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE BIOLÓGICA POR EFLUXO DE CO₂⁸

Cristian Pessotto
Fernanda Maria Xczepaniak
Jaqueline Nicolini
Keller Paulo Nicolini

RESUMO

O monitoramento da produção de dióxido de carbono é uma estratégia para o monitoramento ambiental de solos. Neste estudo estão descritas técnicas de monitoramento do efluxo de gás carbônico. O trabalho apresenta uma proposta de baixo custo como ferramenta para o estudo do efluxo de gás carbônico. A aplicação de técnicas de custo baixo, torna a investigação científica acessível à diferentes públicos e permite a realização do estudo do efluxo de gás carbônico para o aprimoramento de dinâmicas que promovem a preservação do meio ambiente bem como abordagens investigativas.

PALAVRAS-CHAVE: Meio ambiente, sustentabilidade, agricultura de precisão, dióxido de carbono.

INTRODUÇÃO

O efluxo de gás carbônico (CO₂) pode ser quantificado para avaliar o desenvolvimento de culturas florestais (CABREIRA et al., 2022), para estudar a respiração basal de solos via degradação da matéria orgânica realizada principalmente por bactérias e fungos (DA SILVA; DE AZEVEDO; DE-POLLI, 2007), para a avaliação do desenvolvimento de meios de cultura contendo *Saccharomyces cerevisiae* (CORONETTI et al., 2017; DE RAMOS et al., 2019; DE RAMOS et al., 2021; GIRELLI et al., 2019; GUIMARÃES et al., 2018; ZANQUETTI et al., 2018), promovendo atividades sustentáveis.

O aumento da produtividade de culturas de interesse agrícola pode ser otimizado pelo monitoramento de poluentes e contaminantes ambientais, onde a espectroscopia de ultravioleta-visível (UV-Vis), por exemplo, pode ser empregada no monitoramento de espécies químicas de importância ambiental (DANGUI et al., 2018; DE CASTILHO et al., 2018; DOS SANTOS et al., 2019; MULER et al., 2020; SANT'ANA et al., 2022). O estudo de potenciais bioindicadores também se tornou importante para estudar o comportamento de espécies químicas (ALVES;

⁸ Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.



NICOLINI; NICOLINI, 2022; BADOTTI DA SILVA et al., 2018; EILERT et al., 2021; MARTINS et al., 2017; SILVA et al., 2020) de interesse ambiental.

O quociente metabólico (qCO_2) é influenciado pela cobertura vegetal em períodos de maior precipitação pluviométrica (ARAÚJO NETO et al., 2014), sendo que a permanência do CO_2 no solo é influenciada pela presença de grupamentos nitrogenados presentes no solo, como os grupamentos aminas, por exemplo, que criam um forte sítio de adsorção entre o CO_2 e o solo (DE LIMA et al., 2015). Estudos teóricos indicam que modelos de híbridos da zeolita NaX com monoetanolamina tem capacidade de adsorver CO_2 a 25 °C (DE LIMA; FONTENELE; GUERREIRO, et al., 2015).

O teor de CO_2 pode ser determinado por um analisador digital (BORÉM et al., 2006), pela estimativa do fluxo de CO_2 pelo método da razão de Bowen modificada (PEREIRA et al., 2013), através da determinação gravimétrica de CO_2 no ar (SILVA; SANTOS; PIRES, 2012), pela estimativa do volume de CO_2 em meio de cultura contendo *Saccharomyces cerevisiae* (CORONETTI; CORTES; FRANZEN, et al., 2017), através da determinação do CO_2 por cromatografia em fase gasosa (JESUS; ANDRADE, 1998), em processo úmido, com um lavador inserido um líquido de lavagem, contendo soluções alcalinas de hidróxido de sódio (NaOH) ou de hidróxido de potássio (KOH) (XAVIER, 2021).

O acompanhamento da produção de CO_2 pode auxiliar: *i*) no estudo de indicadores biológicos, *ii*) no monitoramento ambiental e *iii*) em abordagens que envolvem atividades de pesquisa aplicada na mitigação de problemas ambientais.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A emissão de CO_2 pode ser analisada através dos seguintes métodos: a) taxa de emissão de gás (CO_2) na forma de bolhas; b) taxas de gás (CO_2) emitido por difusão - câmara de difusão; c) método condutométrico; d) métodos de determinação espectroscópica; e) sensores (VASCONCELOS SEGUNDO, 2013); f) através de métodos cromatográficos, sendo que a partir destes, pode-se determinar CO_2 , em baixas concentrações em linhas de hidrogênio e etileno (JESUS; ANDRADE, 1998).

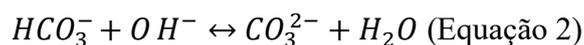
A produção de CO_2 pode ser estimada pelo volume de espuma gerado em culturas de *Saccharomyces cerevisiae*. A partir de Coronetti; Cortes; Franzen, et al., (2017) meios de cultura contendo *Saccharomyces cerevisiae* podem ser preparados utilizando 1,5 g de *Saccharomyces cerevisiae*; 0,3 g de cloreto de sódio (NaCl); 3,0 g de sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$); 9,0 g de carboidrato de origem vegetal $(CH_2O)_n$; e 60 g de água a 40 °C. Os meios de cultura



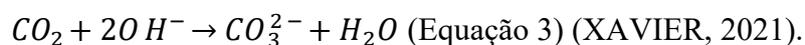
contendo as massas micronizadas das amostras nas concentrações de 0, 10, 50, 100, 500, 1000 e 5000 ppm podem ser avaliados para o estudo da concentração inibitória para *Saccharomyces cerevisiae* (CORONETTI; CORTES; FRANZEN et al., 2017).

Entre os métodos úmidos e os métodos secos existentes para a captura de CO₂, o método úmido demanda menos investimentos e envolve custos operacionais mais baixos. No processo úmido, um lavador opera inserindo-se um líquido de lavagem, normalmente água, na corrente de gás CO₂, por exemplo, que é coletada nesse líquido. Os reagentes utilizados na absorção reativa de CO₂ em soluções alcalinas de hidróxido (NaOH ou KOH) têm sido estudados extensivamente, tanto teórica quanto experimentalmente (XAVIER, 2021).

De acordo com Xavier (2021), o mecanismo de absorção química de CO₂ em soluções de hidróxido de sódio é apresentada conforme as reações demonstradas nas Equações 1 e 2:



A reação global entre a solução de CO₂ e NaOH pode ser expressa de acordo com a Equação 3:



Considerando o processo de absorção de dióxido de carbono (CO₂) presente numa corrente gasosa por uma solução absorvedora, um experimento para o sistema CO₂-NaOH, é viável experimentalmente (MELLO; CASTRO; JERMOLOVICIUS, 2016).

O processo de emissão de CO₂ do solo está associado à atividade microbiana (D'ANDREA et al., 2010), respiração das raízes, decomposição dos resíduos vegetais, oxidação da matéria orgânica do solo (SILVA et al., 2014) e umidade (D'ANDRÉA et al., 2009).

De acordo com Da Silva; De Azevedo e De-Polli (2007), as amostras de solo recém coletadas devem ser peneiradas em malha de 2 mm, removendo-se fragmentos de animais e de vegetais. As amostras, contendo 50 g, são acondicionadas em frascos de vidro de 100 mL. Para cada amostra de solo 10 mL de hidróxido de sódio (NaOH) 1 mol L⁻¹ devem ser adicionados em frascos de vidro de 100 mL. Cada amostra de solo juntamente com um frasco contendo a solução de NaOH 1 mol L⁻¹ são acomodados em um frasco de vidro de 2 L hermeticamente fechado para não haver troca de CO₂ com o ambiente. O frasco controle de 2 L deve conter apenas o frasco de 100 mL com a solução de NaOH 1 mol L⁻¹. Deve-se anotar o horário e a data do início e do final da incubação, que deve ser mantida em local isento de luminosidade e



com temperatura entre 25 e 28 °C, durante um período que pode variar entre 5 e 10 dias. A quantificação do CO₂ respirado durante a incubação é realizada pela adição de 2 mL de BaCl₂ 10 % (massa/volume) ao frasco contendo a solução de NaOH 1 mol L⁻¹, fechando-se o frasco imediatamente após este procedimento. Em seguida, destampar a amostra que será titulada adicionando-se 2 gotas de fenolftaleína 1 % (massa/volume), a titulação é realizada sob agitação magnética com uma solução padronizada de ácido clorídrico (HCl) 0,5 mol L⁻¹. Ao final da titulação a solução irá de rosa para incolor. O cálculo da respiração basal do solo é realizado pela Equação 4:

$$RBS = \frac{(V_b - V_a \cdot M \cdot 0,6 \cdot 1000)}{P_s \cdot T} \text{ (Equação 4)}$$

Onde:

RBS: carbono oriundo da respiração basal do solo (mg de C-CO₂ kg⁻¹ h⁻¹);

V_b: volume da base (mL);

V_a: volume de ácido clorídrico gasto na titulação da amostra (mL);

M: molaridade exata do HCl (mol L⁻¹);

P_s: massa de solo seco (g);

T: tempo de incubação da amostra em horas (CABREIRA; DA SILVA SANTANA; MOREIRA, et al., 2022; DA SILVA; DE AZEVEDO; DE-POLLI, 2007).

O desenvolvimento de estratégias de custo baixo que permitem o monitoramento da produção de CO₂ podem ser aplicadas em ambientes de ensino permitindo abordagens envolvendo o estudo de meios de cultura contendo *Saccharomyces cerevisiae*, por exemplo, em estudos ambientais.

MATERIAIS E MÉTODOS

ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE CO₂ POR BORBULHAMENTO EM SOLUÇÃO DE NaOH

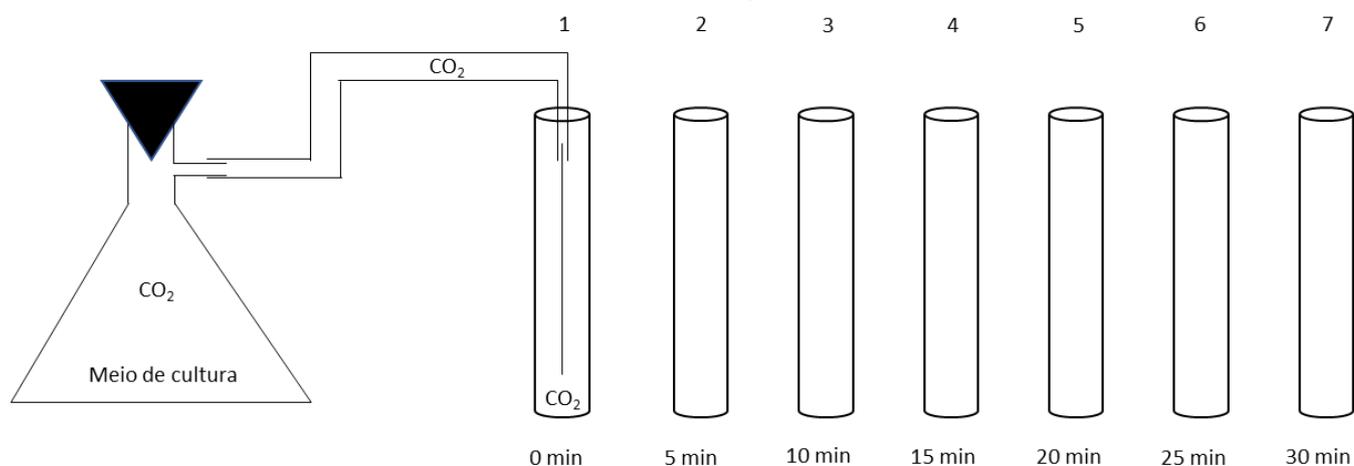
A investigação da produção de CO₂ em culturas de *Saccharomyces cerevisiae* foi realizada em um kitassato de 250 mL, onde o meio de cultura (CORONETTI; CORTES; FRANZEN, et al., 2017) foi preparado em um kitassato, acoplado a um banho maria a 40 °C. O kitassato foi conectado a uma mangueira que borbulhou o CO₂ gerado no meio de cultura em tubos de ensaio contendo: a) 20 mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,01 mol L⁻¹ (XAVIER, 2021); e b) 2 gotas do indicador fenolftaleína. A quantidade de CO₂ produzida foi



calculada, no ponto estequiométrico, por estequiometria de neutralização a partir de uma solução padronizada de ácido clorídrico (HCl) $0,01 \text{ mol L}^{-1}$.

Após a homogeneização dos componentes do meio de cultura, eles são transferidos para um kitassato em banho Maria a 40°C . A parte superior do kitassato é vedada com uma rolha. A saída lateral do kitassato fica conectada a uma mangueira que na outra extremidade fica conectada em uma agulha com diâmetro interno igual a $0,15 \text{ mm}$. A extremidade da mangueira contendo a agulha é mergulhada em um tubo de ensaio contendo a solução de hidróxido de sódio (NaOH) $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e 2 gotas da solução indicadora de fenolftaleína, simulando uma torre de nebulização (Figura 1). Cada tubo de ensaio representa um tempo em que o meio de cultura contendo organismos de *Saccharomyces cerevisiae*, que geram CO_2 , o qual é borbulhado em cada um dos tubos por 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 min, sendo: Tubo 1 – 0 minutos (referência); Tubo 2 – 5 minutos; Tubo 3 – 10 minutos; Tubo 4 – 15 minutos; Tubo 5 – 20 minutos; Tubo 6 – 25 minutos; Tubo 7 – 30 minutos.

Figura 1: Protótipo do aparato experimental para monitorar a produção de CO_2 em um meio de cultura, através de uma torre de nebulização alternativa.



Fonte: Autoria própria, 2022.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A investigação da produção de CO_2 em culturas de *Saccharomyces cerevisiae* pode ser observada na Tabela 1.



Tabela 1: Produção de CO₂ nos tubos de ensaio nos diferentes tempos de borbulhamento.

Número do tubo de ensaio	Tempo de borbulhamento de CO ₂ (min)	Volume de NaOH presente no tubo (mL) ^a	Volume de solução de HCl gasto (mL) ^b	Número de mols de CO ₂ quantificado ^c
1	0	20	20	0
2	5	20	19,4	6,0x10 ⁻⁶
3	10	20	18,7	1,3x10 ⁻⁵
4	15	20	16,6	3,4x10 ⁻⁵
5	20	20	15,7	4,3x10 ⁻⁵
6	25	20	12,5	7,5x10 ⁻⁵
7	30	20	7,2	1,3x10 ⁻⁴

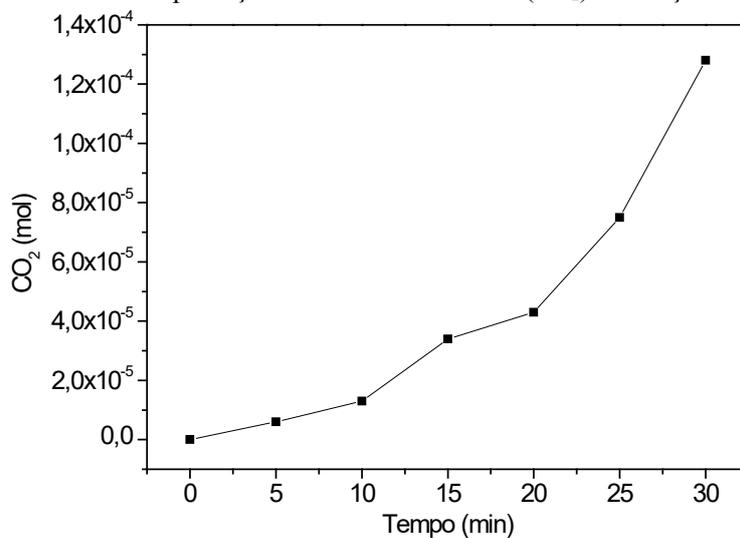
^a NaOH na concentração de 0,001 mol L⁻¹; ^b HCl na concentração de 0,001 mol L⁻¹; ^c Estimativa do número de mols de CO₂ presente no meio;

Fonte: Autoria própria, 2022.

Os resultados experimentais evidenciam que o tubo de ensaio 1, contendo 20 mL da solução de NaOH na concentração de 0,01 mol L⁻¹ e duas gotas da solução indicadora de fenolftaleína não apresentou quantidades detectáveis de CO₂, o tubo de ensaio 2, apresentou 6,0x10⁻⁶ mol de CO₂ detectável pelo método, o tubo de ensaio 3, apresentou 1,3x10⁻⁵ mol de CO₂, o tubo de ensaio 4, apresentou 3,4x10⁻⁵ mol de CO₂, o tubo de ensaio 5, apresentou 4,3x10⁻⁵ mol de CO₂, o tubo de ensaio 6, apresentou 7,5x10⁻⁵ mol de CO₂ e o tubo de ensaio 7, apresentou 1,3x10⁻⁴ mol de CO₂. Ainda pode se observar, na Tabela 1, que o volume de HCl gasto reduz com o passar do tempo. Isso se deve ao aumento da concentração de CO₂ gerada, o que torna o meio mais ácido devido a formação de ácido carbônico (HCO₃⁻), conforme a Equação 1.

A Figura 1 apresenta a cinética de produção de CO₂ em função do tempo, durante o experimento realizado nos tempos de 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 min.

Figura 1: Cinética de produção de dióxido de carbono (CO₂) em função do tempo.



Fonte: Autoria própria, 2022.



A equação da reta pode ser escrita como sendo $y=ax+b$. Neste estudo cinético de produção de CO_2 a equação determinada experimentalmente pode ser escrita como sendo $y=(2 \times 10^{-5})x - (4 \times 10^{-5})$, com um $R^2 = 0,8743$. Uma vez encontrada a equação da reta é possível calcular a velocidade de produção de CO_2 em função do tempo (RUSSEL, 1994). O estudo cinético também foi ajustado para um polinômio de segundo grau, obtendo-se uma equação polinomial, onde $y=(2 \times 10^{-7})x^2 - (9 \times 10^{-7})x + (4 \times 10^{-6})$ com um $R^2 = 0,9822$.

A velocidade de produção de CO_2 calculada entre os tempos 0 e 5 min foi igual a $1,20 \times 10^{-6} \text{ mol min}^{-1}$. Estudos cinéticos, em solução, são uma ferramenta poderosa na investigação dos mecanismos de reações (OLIVEIRA; FARIA, 2010).

Após determinar as velocidades iniciais faz-se um gráfico dos valores de $\ln v_0$ contra o $\ln [A]_0$ e obtém-se a ordem da reação em relação a A ($[\text{CO}_2]$, aquoso estimada) pelo coeficiente angular da reta (OLIVEIRA; FARIA, 2010). Para os estudos realizados neste trabalho obteve-se um coeficiente angular da reta a partir da velocidade inicial de produção de CO_2 (aquoso, estimada) igual a 0,2, ou seja, uma ordem de reação igual a 0,2. Esta abordagem para o estudo cinético de fermentações pode também ser realizada pelo acompanhamento da concentração celular, de açúcares redutores totais e de etanol ao longo do tempo (NASCIMENTO; JÚNIOR; ABUD, 2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado demonstra ser possível avaliar o comportamento cinético da produção de dióxido de carbono (CO_2) através de uma técnica de custo baixo. Estudos de monitoramento das taxas de produção de CO_2 são uma ferramenta para abordagens que envolvem questões ambientais em ambientes de ensino, pesquisa e extensão promovendo a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ALVES, G. N.; NICOLINI, J.; NICOLINI, K. P., Ciência em foco: Investigações sobre as taxas de clorofila em plantas da região de Palmas - PR, in: FREITAS, P. G. D. (Ed.), CIÊNCIAS EXATAS EM FOCO: INTERAÇÕES ENTRE PESQUISA, ATUAÇÃO E INOVAÇÃO, e-Publicar, Rio de Janeiro - RJ - Brasil, 2022, pp. 114-126.

ARAÚJO NETO, S. E. D., *et al.* Atividade biológica de solo sob cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho, mandioca e plantas de cobertura. **Revista Ciência Agronômica**. v. 45, n. 4, p. 650-658, 2014.



BADOTTI DA SILVA, D., *et al.* Coleção de propostas utilizando produtos naturais para a introdução ao tema ácido-base (parte ii): extração e armazenamento. **Educación Química**. v. 29, n. 2, p. 3-16, 2018.

BORÉM, F. M., *et al.* Controle de fungos presentes no ar e em sementes de feijão durante armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 10, n. 3, p. 651-659, 2006.

CABREIRA, W. V., *et al.* Deposição de nitrogênio e influência das copas das árvores no efluxo de C-CO₂ no solo. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 42, n., p., 2022.

CORONETTI, M. R., *et al.* Avaliação *in vitro* de alterações em *Lactuca* spp. de *Saccharomyces cerevisiae* na presença de fármacos. **Infarma-Ciências Farmacêuticas**. v. 29, n. 2, p. 8, 2017.

D'ANDRÉA, A. F., *et al.* Variações de curto prazo nas emissões de CO₂ do solo em diferentes sistemas de manejo do cafeeiro. **Química Nova**. v. 32, n. 9, p. 2314-2317, 2009.

D'ANDREA, A. F., *et al.* Variações de curto prazo no fluxo e variabilidade espacial do CO₂ do solo em floresta nativa. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 30, n. 62, p. 85-85, 2010.

DA SILVA, E. E.; DE AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂). **Embrapa Agrobiologia-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**. v., n., p., 2007.

DANGUI, A. Z., *et al.* Preferential solvation bromophenol blue in water-alcohol binary mixture. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**. v. 203, n., p. 333-341, 2018.

DE CASTILHO, T. S., *et al.* Study of interaction between metal ions and quercetin. **Food Science and Human Wellness**. v., n., p., 2018.

DE LIMA, A., *et al.* IMPACTO DA QUIMISSORÇÃO NA ADSORÇÃO DE CO₂ NO HÍBRIDO NaX/MEA. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**. v. 1, n., p. 659-664, 2015.

DE RAMOS, E. K. K., *et al.* Tratamento hidrotérmico da biomassa de *Araucaria* spp. para a produção de condicionadores de solos. **AMBIÊNCIA**. v. 15, n. 2, p. 417-434, 2019.

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, n. 1, p. 107-119, 2021.

DOS SANTOS, C. D. M. R., *et al.* Fast determination of rutin-metal binding constants: a way to metal detection at the environment. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**. v. 12, n. 4, p. 534-539, 2019.

EILERT, J. B., *et al.*, Bio-óleo e rendimentos da pirólise de biomassa residual de *Pinus*: Sustentabilidade e aplicações socio-ambientais, in: FREITAS, P. G. D.; MELLO, R. G. (Eds.), Ciências exatas e inovação: Perspectivas de desenvolvimento e aplicabilidade em sociedade, e-Publicar, Brasil, 2021, pp. 130-145.



GIRELLI, G. C., *et al.* Reflectance and ultraviolet spectroscopy: predicting the relative growth of *Saccharomyces cerevisiae* in *Pine* biomass. **Spectroscopy Letters**. v. 52, n. 2, p. 1-7, 2019.

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, n. 2, p. 199-204, 2018.

JESUS, R. N. D.; ANDRADE, J. B. D. Determinação de traços de Co e Co²⁺ em linha" por cromatografia em fase gasosa. **Química Nova**. v. 21, n., p. 481-483, 1998.

MARTINS, R. D. C., *et al.* Coleção de propostas utilizando produtos naturais para a introdução ao tema ácido-base no Ensino Médio (Parte I). **Educación Química**. v. 28, n. 4, p. 246-253, 2017.

MELLO, L. C.; CASTRO, E. R. D.; JERMOLOVICIUS, L. A. METODOLOGIA EXPERIMENTAL PARA REAÇÕES GÁS-LÍQUIDO. **Química Nova**. v. 39, n., p. 627-633, 2016.

MULER, S. D. S., *et al.* Preferential solvation and perichromic behavior of the dyes indigo carmine, amaranth and tartrazine: Spectroscopic approach using binary mixtures. **Journal of Molecular Liquids**. v. 300, n., p. 112295, 2020.

NASCIMENTO, A. I. L. F.; JÚNIOR, A. M. O.; ABUD, A. K. S. Avaliação do Modelo de Monod para fermentação em caldo residual da casca de jaboticaba. **Scientia Plena**. v. 14, n. 6, p., 2018.

OLIVEIRA, A. P.; FARIA, R. B. Ordens não inteiras em cinética química. **Química Nova**. v. 33, n., p. 1412-1415, 2010.

PEREIRA, O. A., *et al.* Determinação do fluxo de CO₂ no norte do Pantanal mato-grossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 28, n., p. 341-352, 2013.

RUSSEL, J. Química Geral, Volume 2, 2ª. Edição Pearson Education-São Paulo. v., n., p., 1994.

SANT'ANA, A. C., *et al.* Hydroalcoholic mixtures: the effect of the solvent on the electronic spectrum of the indicator methyl orange. **Monatshefte für Chemie-Chemical Monthly**. v. 153, n. 1, p. 61-67, 2022.

SILVA, E. D. F., *et al.* Emissão de CO₂ do solo associada à calagem em área de conversão de laranja para cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**. v. 34, n. 5, p. 885-898, 2014.

SILVA, J. M. D., *et al.* Extratos de *Lilium* sp., *Agapanthus* sp. e *Hydrangea* sp.: comportamento como indicadores naturais em diferentes faixas de pH. **Química Nova**. v. 43, n. 2, p. 231-238, 2020.

SILVA, R. D.; SANTOS, F. S. D.; PIRES, M. Uso de materiais recicláveis na determinação gravimétrica de CO₂ no ar ambiente e tratamento dos resíduos de laboratório gerados. **Química Nova**. v. 35, n., p. 2067-2071, 2012.

VASCONCELOS SEGUNDO, E. H. D. Técnica alternativas de determinação" on site" de dióxido de carbono. **Universidade Federal do Paraná - UFPR**. v. Tese, n. 143 p., p., 2013.



XAVIER, M. N. Absorção de CO₂ em solução de NaOH em uma torre de nebulização. v., n., p., 2021.

ZANQUETTI, A., *et al.* Influência do tratamento hidrotérmico na energia de *band gap* de carvões de *Eucalyptus* spp. **Revista Thema**. v. 15, n. 1, p. 9, 2018.



CAPÍTULO 25

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Kevin Bezerra Ibiapina
Caylanne Mendes de Souza
Maria da Conceição Araújo Pereira
José Rodrigo Alves de Lima

RESUMO

O conhecimento acerca das propriedades das rochas, sempre permitiu a ampliada utilização destes materiais na construção civil e na arquitetura ao longo da existência humana. Para o comércio o principal condicionante é o fator estético, entretanto esse aspecto deve ser conjugado ao conhecimento das propriedades físicas e mecânicas para que a rocha escolhida tenha o desempenho esperado. Neste trabalho procura-se apresentar uma revisão da bibliografia, considerando as técnicas para a caracterização destas rochas e os respectivos ensaios necessários. Por conseguinte, considera-se uma revisão da literatura de tipologia narrativa, que tem como objetivo abranger desde as propriedades das rochas ornamentais englobando os ensaios para sua caracterização. Por fim, espera-se contribuir com os estudos das rochas ornamentais, incentivando o seu emprego na arquitetura moderna.

PALAVRAS-CHAVE: rochas, ornamentais, revestimento, caracterização, geologia.

INTRODUÇÃO

Rochas são compostas por agregados de um ou mais minerais formados por um processo geológico em determinadas condições de temperatura e pressão. Estes materiais naturais são usados pelo homem desde os tempos pré-históricos, onde desempenharam diversas funções com destaque a construção civil, por apresentarem rigidez necessária para funções estruturais e de alvenaria. Com a ampliação das técnicas e da variedade de materiais de construção, ao longo do tempo, essas funções foram suplantadas pelos revestimentos tanto de pisos e paredes, como de fachadas, além de também constituírem elementos funcionais (tampos de pias e balcões) ou ornamentais (arte estatuária e funerária) (FRASCÁ, 2014).

Com relação a nomenclatura, a ABNT (2013) inclui o termo "cantaria" para toda pedra aparelhada ou afeiçoada, destinada a revestir edificações ou servir de elementos decorativos ou funcionais, com geometria e acabamento preestabelecido por um projeto. Segundo Frascá (2014), sob a designação "rochas ornamentais" se incluiriam todos os materiais rochosos aproveitados pela sua aparência estética para utilização em trabalhos artísticos, elemento decorativo e como materiais para construção.



O revestimento de edificações é a principal aplicação das rochas ornamentais, que se beneficiam de seu visual em pisos, paredes e fachadas como forma de promover uma boa aparência associada à funcionalidade para as edificações. Com os aperfeiçoamentos das técnicas de acabamento para peças de mármore e granitos, passaram a ser mais procuradas para construções sofisticadas, pois, além de apresentarem as características propostas acima possuem forte apelo de exclusividade.

Tendo isso em vista, o principal objetivo deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica, contendo as características das rochas ornamentais, bem como os ensaios normatizados para elas. Por conseguinte, o trabalho trata de uma revisão da literatura narrativa, considerando o tema de estudo abrangente e por possuir uma seleção arbitrária dos artigos. Além disso, temos que a metodologia para que se alcance este objetivo é composta primordialmente por leitura de trabalhos científicos: artigos, revistas, monográficas, livros, etc.

Com isso, segundo Frascá (2014) “Embora o uso da pedra na arquitetura tenha sido mais intensivo na Europa, todos os povos fizeram uso dela ao longo da história, principalmente em edificações de cunho religioso por sua durabilidade”, as rochas muito empregadas como elementos estruturais em edificações, desempenhando importante função de sustentação, resistindo a cargas compressivas. Por fornecerem vantagens de resistência e facilidade construtiva, materiais como aço e concreto armado se tornaram mais viáveis e foram gradualmente a substituindo.

CARACTERÍSTICAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

De acordo com Frascá (2002), existem três características essenciais que estão diretamente ligadas a geologia do material que uma rocha deve possuir para poder ser classificada como rocha ornamental e de revestimento, sendo elas:

- a) Padrão estético: São as características advindas da cor, textura, homogeneidade da rocha, composição mineral, etc.
- b) Tipologia do jazimento: Característica que depende da intensidade e tipo de deformação sofrida pela rocha, entre outros.
- c) Propriedades físicas, químicas e mecânicas: Características essas que darão uma previsão acerca de sua durabilidade na edificação, considerando as solicitações (intemperismo, corrosão, etc.) que ocorrerão durante seu uso.



Ainda segundo Frascá (2002), temos outras características importantes a serem consideradas:

a) Características de mercado: Considerando a viabilidade econômica, a capacidade de concorrência com as rochas já disponíveis no mercado e pelos modismos

b) Processo de extração e beneficiamento: Deve possuir processos adequados para o material escolhido, considerando todas as etapas de extração e beneficiamento, visando o melhor aproveitamento do material com o mínimo de danos.

c) Uso e manutenção

Frascá (2002) destacou as características de mercado como uma característica a ser considerada na rocha ornamental, temos que segundo Oliveira et al (2018), o conhecimento das propriedades físico-mecânicas e das características químico-mineralógicas são fatores que afetam o preço do produto, como também, as opções de uso e a valorização do material; tendo em vista as exigências do mercado. Além disso, “O valor comercial da rocha é consequência direta das características técnicas da rocha ornamental, bem como das características estéticas (cor, textura e estrutura) e do modismo do mercado.” (OLIVEIRA et al, 2018, p.125-126).

TIPOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Segundo Frascá (2014), os tipos de rochas podem ser divididos da seguinte forma:

a) Rochas ígneas: Resultante da solidificação do material rochoso fundido no magma, formado no interior da crosta terrestre. Sendo dividido em dois grupos: Plutônicas as formadas em profundidades, resfriada através de processos lentos e formando material de estrutura cristalina de granulação grossa; e as vulcânicas formadas na superfície terrestre através da liberação do magma, ocorrendo resfriamento rápido o que ocasiona um material vítreo com granulação fina. Sendo as principais usadas como rochas ornamentais e de revestimento as seguintes:

I. Gabros e dioritos (Granitos pretos): Ricas em minerais máficos e opacos, responsáveis pela cor escura.

II. Charnockitos: Um tipo especial de rochas plutônicas, formada pelo mineral hiperstênio e apresentam cor tipicamente verde-escura.

III. Pegmatitos: Tem como característica possuir granulação grossa a muito grossa, estrutura bastante heterogênea e cores como branco ou bege, com tonalidades como verde, amarelo, rosa, etc.



b) Rochas Sedimentares: Formadas através da erosão, transporte e deposição de sedimentos obtidos através da degradação e decomposição de rochas (rochas detríticas), compostos químicos (rochas ortoquímicas), ou fragmentos biogênicos (rochas aloquímicas). Sendo as principais usadas como rochas ornamentais e de revestimento as seguintes:

I. Calcários: Rochas aloquímicas, formadas na maioria dos casos em ambientes marinhos ou geralmente na própria bacia sedimentar.

II. Dolomitos: Rochas aloquímicas, gerados a partir do calcário, possuem cor cinza-claro e granulação fina.

c) Rochas Metamórficas: São derivadas de outras preexistentes, que através de processos geológicos, ocorreram transformações químicas e estruturais formando uma nova rocha. Por ser obtida através de rochas preexistentes, sua composição depende principalmente da constituição da rocha original e das condições de temperatura e pressão em que se formou. Sendo as principais usadas como rochas ornamentais e de revestimento as seguintes:

I. Gnaisses: Rochas quartzo-feldspáticas, obtidas através de rochas graníticas, ou da total reorganização estrutural de rochas sedimentares. Sendo umas das mais usadas como em revestimento, e como os granitos, possui muitas variedades de cores.

II. Mármore: Rochas originadas a partir do calcário e dos dolomitos, sendo importante ressaltar o mármore “Carracas”, muito utilizado pelos arquitetos brasileiros e italianos.

III. Quartzitos: Formadas principalmente por quartzo, comumente possui cor branca, possuindo variações como vermelho e azul, sendo sua resistência a alterações físico-químicas uma importante característica.

IV. Milonitos: Possui estrutura bem definida, possui cor predominante cinza, podendo variar entre tons de amarelo e rosa devido a ação do intemperismo.

V. Migmatitos: Apresentam composição e estrutura heterogênea, possuindo porções ora cor escuras ora cor claras, sendo geralmente compostas de materiais máficos.

VI. Ardósias, filitos e xistos: possuem riqueza em materiais micáceos (silicatos monoclinicos, foliados, com excelente clivagem basal). A ardósia é a rocha mais usada em telhados de países que possuem clima frio, e devido a sua clivagem ardosiana, favorece a extração na forma de placas.



Além disso de acordo com Costa, Campello e Pimenta (2000), se baseando na composição e nas características geológicas as rochas ornamentais, destacou as seguintes divisões:

- a) Granitos ornamentais: Possuem base retrográfica, possuem granulação variada podem ser: quartzo-feldspáticos, feldspático, máficos.
- b) Quartzitos ornamentais: Possuem alto grau de cristalização, granulação predominante fina e constituídos essencialmente de quartzo.
- c) Mármore: Sua textura é altamente influenciável por transformações metamórficas, possuindo granulação variando de fina à média e possuem boa qualificação ornamental ou de revestimento
- d) Ardósias: Possuem granulação muito fina, constituídas por minerais filossilicatos e são resultantes de transformações metamórficas de muito baixo grau.
- e) Esteatitos (pedra sabão) e Serpentinitos: Obtidos através de processos aloquímicos em rochas ultrabásicas e ultramáficas, resultantes de modificações químicas e em transformações mineralógicas com substituição de olivinas e piroxênios primários por serpentinas, anfibólios, cloritas e carbonato.

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

A caracterização tecnológica é fundamental para a inserção de uma nova rocha ornamental no mercado de forma segura e correta, estando atrelada muitas vezes a etapa de pesquisa do mineral. Com isso é realizado ensaios cujo objetivo é obter as características físicas e mecânicas, bem como os parâmetros petrográficos, sendo essas determinações obtidas através de ensaios e análises normalizados e em laboratórios especializados (RODRIGUEZ et al.,2018).

Além disso, a caracterização tecnológica das rochas ornamentais é realizada sendo considerado básico os seguintes ensaios: tração na flexão, impacto de corpo duro, dilatação térmica linear, índices físicos, compressão uniaxial, análise petrográfica, congelamento e degelo, Desgaste abrasivo Amsler, flexão e velocidade de propagação de ondas (FRASCÁ, 2002)

O estudo sobre a caracterização tecnológica das rochas ornamentais proporciona um melhor direcionamento de tais matérias na construção civil, tendo como base parâmetro físicos, mecânicos e petrográficos. Segundo Alencar (2013), o enquadramento por classe, bem como a



indicação para uma correta aplicação de qualquer rocha ou conjunto de rochas do tipo ornamental ou de revestimento, vai depender, afora variações de seus conteúdos mineralógicos, do tamanho, da forma e dos arranjos dos grãos dos minerais que as compõem.

Cada característica, na realidade, torna cada material único. Com base nos ensaios de caracterização tecnológica, a análise permitirá a recomendação do uso mais adequado no revestimento de edificações, bem como subsidiarão a elaboração de projetos arquitetônicos.

PETROGRAFIA

A petrologia, vem do grego petros (rocha) + logos (conhecimento), que é um ramo da geologia que trata da origem, ocorrência, estrutura e história das rochas. Dentro da petrologia, existe uma ramificação cujo objetivo é a descrição das rochas e a análise das suas características estruturais, mineralógicas e químicas. Este, por sua vez, denominado petrografia.

Em todo estudo mineralógico, a análise petrográfica designa a classificação da rocha e compreende a descrição macroscópica (estruturação, cor) e microscópica (mineralogia, textura, granulação), com ênfase em características tais como deformação, alteração, padrão de micro fissuramento e outras propriedades que possam influenciar a durabilidade sob as condições de uso a qual será submetida e o comportamento mecânico. Segundo Frascá (2014), a petrografia uma ferramenta muito importante para análise dos dados tecnológicos. Essencial para diagnosticar e caracterizar deteriorações em rochas.

Já a análise petrográfica consiste na observação de porções delgadas da rocha, com espessura de 30 μm para permitir a passagem de luz de um microscópio ótico. A análise petrográfica de rochas ornamentais é feita com dois enfoques; o macroscópico e o microscópico. A descrição macroscópica deve relatar algumas feições, das quais se destacam: cor e estrutura.

De acordo com a ABNT (2015), a realização do ensaio de caracterização compreende em analisar uma amostra de material através de um microscópio ótico de luz polarizável, se atendo a propriedades como: textura, estado micro fissural, composição mineralógica.

PROPRIEDADES FÍSICAS

As rochas ornamentais destinadas para revestimento sofrem a ações desde a sua formação até o seu uso em uma edificação, sendo estas, geradas principalmente pelas intempéries, produtos de limpeza, poluição do meio ambiente, etc. Com isso, ao se ter as características tecnológicas destas rochas, é possível realizar o correto dimensionamento e



direcionar o seu uso, considerando a vida útil do material no meio ao qual está inserido (ALENCAR, 2013)

Os referidos índices são obtidos através de ensaios executados segundo procedimentos normalizados por entidades reconhecidas internacionalmente, tais como: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); *American Society for Testing and Materials* (ASTM); Comitê Europeu de Normalização (CEN) etc. (ALENCAR, p. 33, 2013).

Dentre os índices físico, destacam-se:

a) Densidade: Indica o peso da rocha, um parâmetro para o cálculo de cargas em construções, o dimensionamento de embalagens, os custos e meios de transporte, entre outras aplicações

b) Dureza: Corresponde à resistência do mineral ao risco ou abrasão, usualmente medida por meio da resistência que a superfície do mineral oferece ao risco por outro mineral ou outro material. Abaixo temos a Escala de Mohs, que é uma escala padrão constituída de dez minerais, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Escala de Mohs.

Escala de dureza	Minerais Padrões	Composição Química	Referências Relativas	Tipos de Minerais
1	Talco	$Mg_3SiO_4(OH)_2$	Riscam-se com a unha	Moles
2	Gipso	$CaSO_4 * 2H_2O$		
3	Calcita	$CaCO_3$	Risca-se com objeto de cobre	
4	Fluorita	CaF_2	Riscam-se com canivete ou vidro	Semiduros
5	Apatita	$Ca_5(PO_4)_3, FCLOH$		
6	Ortoclásio	$KAlSi_3O_8$	Risca o vidro com dificuldade	
7	Quartzo	SiO_2	Riscam o vidro	Duros
8	Topázio	$Al_2SiO_4(OHF)_2$		
9	Coríndon	Al_2CO_3	Riscam o vidro com facilidade	
10	Diamante	C		

Fonte: Frascá (2014).

ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL

O ensaio de resistência a compressão é um método para determinar a tensão de ruptura do material. Com base nos parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 15845-5:2015, para realizar o ensaio de compressão uniaxial, deve-se moldar corpos de prova no formado cúbico, com proporção de aresta entre 70mm e 75 mm, ou no formado cilíndrico entre 70 mm e 75 mm na proporção de 1;1 em relação à base/altura.



No caso de rochas com estrutura gnáissica, foliada, xistosa etc., devem ser utilizados no mínimo vinte corpos de prova, sendo dez para ensaios com linha de carregamento na direção paralela e dez na direção perpendicular á estrutura. No caso de rochas de estrutura isotrópica, são usados no mínimo dez corpos de prova (ABNT, 2015, p. 2).

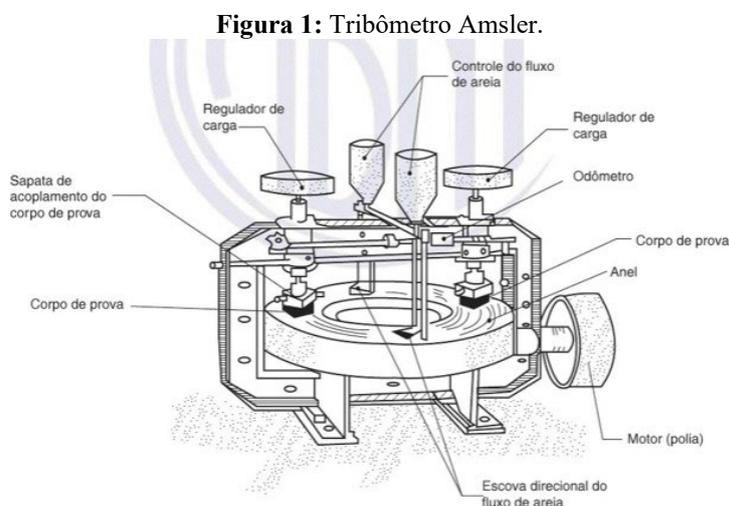
O ensaio propriamente dito consiste em aplicar ao material um esforço compressivo com taxa de 0,5Mpa/s por meio de uma prensa hidráulica. A determinação da tensão de ruptura se dá pela razão da força submetida ao material pela área da superfície de contato.

ENSAIO DE DESGASTE A ABRASÃO

O ensaio de desgaste abrasivo por atrito é um ensaio que permite verificar o desgaste em mm da rocha após um percurso que causa desagregação superficial no material, na qual se observa a diminuição de volume e de altura do corpo de prova. De acordo com a ABNT (2012), se faz necessário uma aparelhagem que contenha um anel de ferro fundido, com superfície plana e lisa, disposto horizontalmente, com diâmetro externo de 800 mm e largura 160 mm. Além disso, deve-se permitir:

- Ensaiai dois corpos de prova simultaneamente;
- Aplicar uma carga variável sobre cada corpo de prova;
- A rotação de corpos de prova em torno de seu próprio eixo, perpendicular a superfície que entrara em contato;
- Regular a vazão de areia em $72 \text{ cm}^3/\text{min}$.

No Brasil, adota-se a determinação de desgaste por meio do tribômetro Amsler, conforme Figura 1, que consiste na medição da redução de espessura (mm) que placas de rocha apresentam após um percurso abrasivo de 1.000 m, com o uso de areia essencialmente quartzosa como abrasivo.



Fonte: Associação brasileira de normas técnicas (2012).



Segundo a ABNT (2012), a execução do ensaio se dá ao posicionar os corpos de prova nas sapatas de acoplamento aplicando uma carga inicial de 66 N. Após isso, deve-se ligar o aparelho até que o anel tenha dado 250 voltas, que equivale à um percurso de aproximadamente 500m do corpo de prova e repetindo este processo três vezes. Entre cada bateria de teste, deve-se retirar os corpos de prova do equipamento e remover a poeira aderente a eles através de uma escova macia.

Além disso, no final de cada etapa, deve-se efetuar uma inspeção visual nos corpos de prova, registrando-se qualquer alteração física do material. Os resultados são obtidos realizando a diferença, em cada etapa do processo, entre a leitura final e a leitura intermediária.

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CONGELAMENTO E DEGELO

Esse ensaio é regido pela ABNT NBR 15845-4:2015, que de acordo com ela, é realizado expondo a amostra (Cinco corpos de provas cúbico secos por amostra) a um regime de 25 ciclos de congelamento e degelo. Com isso, tem o objetivo de medir a resistência a esforços mecânicos, que no caso de rochas ornamentais opta-se pelo ensaio de resistência a compressão uniaxial (ABNT NBR 15845-5:2015), sendo realizado em estado natural e após os 25 ciclos. Por conseguinte, calcula-se um valor K que é obtido através da razão entre a resistência após os ciclos e a resistência natural, considerando que quanto mais próximo 1 for o K, menos efeitos do ciclo a rocha sofreu. (ABNT, 2015)

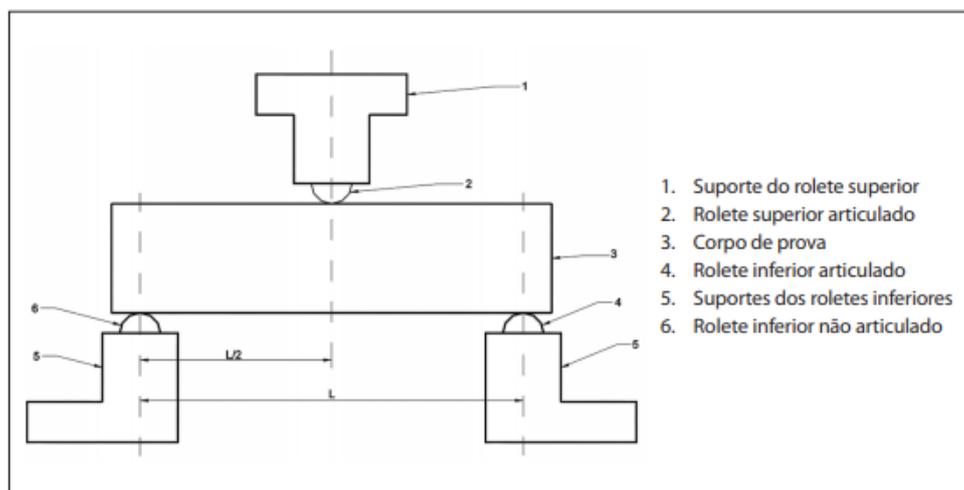
É interessante a realização desse ensaio, para poder se verificar como a rocha se comportará se submetida a situações de mudanças brusca de temperaturas, como no caso dos países temperados. Com isso, esse ensaio se torna necessário antes de se exportar a rocha ornamental para esse tipo de clima.

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE RUPTURA (FLEXÃO POR CARREGAMENTO EM TRÊS PONTOS)

Esse ensaio é regido pela ABNT NBR 15845-6:2015, que de acordo com ela, é realizado com amostras (devem ter formato retangular com superfícies planas e faces opostas paralelas, com dimensões de 50mm x 100mm x 220 mm sendo a espessura, largura e comprimento respectivamente) sendo usados 20 corpos de prova por amostra a depender da estrutura da rocha, conforme Figura 2. Além disso a execução do ensaio depende das condições se forem: seca em estufa e saturado em água; seca; saturada em água. Com isso, se for realizado na condição seca, é necessário deixar o corpo de prova na estufa a 70 °C, por no mínimo 48h, e ensaiá-los logo após o resfriamento (ABNT, 2015)



Figura 2: Arranjo recomendado para disposição do corpo de prova no dispositivo para determinação do módulo de ruptura em rochas.



Fonte: ABNT (2015).

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO IMPACTO DO CORPO DURO

Esse ensaio é regido pela ABNT NBR 15845-8:2015, que de acordo com a norma é realizado utilizando uma amostra de no mínimo cinco corpos de provas de dimensões 200 mm x 200 mm cortados a partir de placas com acabamento e espessuras de uso. O ensaio é realizado abandonando a esfera de metal em queda de livre de uma altura inicial, e repetindo o experimento para intervalos crescentes de 5 cm até que ocorra a fissuração da placa, sendo o resultado expresso através da média aritmética da altura de ruptura e pela energia de ruptura. (ABNT, 2015)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo desse trabalho, pretendeu-se demonstrar a extensão e complexidade do mundo das rochas, no qual as rochas ornamentais acham-se inseridas e se destacam por sua resistência e beleza. Foi realizada uma revisão da bibliografia, transpassando desde suas propriedades até os ensaios usados para a sua caracterização tecnológica. Com isso, vale salientar que embora as rochas ornamentais possuam toda uma qualidade estética, para que seja possível sua aplicação, é necessário realizar sua caracterização tecnológica, realizando assim, os ensaios desta bibliografia. Pode-se concluir que o revestimento rochoso é uma opção viável para quem busca durabilidade e um visual seletivo, fazendo necessárias as devidas informações tecnológicas, de forma a alcançar mercados mais diversificados e a durabilidade desejada de seus produtos. Por fim, espera-se contribuir para que as rochas ornamentais sejam mais comumente utilizadas



em construções, de forma, que o consumidor final possa se beneficiar de suas características tecnológicas e beleza.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, C. R. A. **Manual de caracterização, aplicação, uso e manutenção das principais rochas comerciais no Espírito Santo: rochas ornamentais.** Instituto Euvaldo Lodi-regional do Espírito Santo. Cachoeiro de Itapemirim/ES (IEL), 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12042: Materiais inorgânicos – determinação do desgaste por abrasão.** Rio de Janeiro, p. 1-4. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15012/13: Rochas para revestimento de edificações – Terminologia.** Rio de Janeiro, p.12.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15845-1: Rochas para Revestimentos Parte 1: Análise Petrográfica.** Rio de Janeiro, p. 2-4. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15845-4: Rochas para revestimento parte 4: Determinação da resistência ao congelamento e degelo.** Rio de Janeiro, p. 2-3. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15845-5: Rochas para Revestimentos Parte 5: Determinação da resistência à compressão uniaxial.** Rio de Janeiro, p. 1-3. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15845-6: Rochas para revestimento parte 6: Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos).** Rio de Janeiro, p. 4. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15845-8: Rochas para revestimento parte 8: Determinação da resistência ao impacto de corpo duro.** Rio de Janeiro, p. 3. 2015.

COSTA, A. G.; CAMPELLO, M. S.; PIMENTA, V. B. **Rochas ornamentais e de revestimento de Minas Gerais: Principais ocorrências, caracterização e aplicações na indústria da construção civil.** Geonomos, 2000.

FRASCÁ, M.H.B.O. 2002. **Qualificação de rochas ornamentais e para revestimento de edificações: caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade.** In: Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, 1, Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2, Salvador. Anais. Rio de Janeiro: MCT/CETEM. p. 128-135.

FRASCÁ, M.H.B.O. **Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas.** In: **Tecnologia de Rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento.** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. Cap.1-2, p.17-98.



OLIVEIRA, G. A. R. et al. **Caracterização tecnológica de alguns litotipos do espírito santo e do nordeste e sua aplicabilidade como rochas ornamentais.** Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração, v. 14, n. 2, p. 125-132, 2018.

RODRIGUES, A. S. et al. **Caracterização tecnológica de rocha pegmatítica visando sua utilização como rocha ornamental.** Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração, v. 15, n. 4, p. 434-440, 2018.



CAPÍTULO 26

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE AGREGADOS LEVES COM RESÍDUOS E ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DESSES AGREGADOS EM CONCRETOS COM FOCO EM DURABILIDADE E DESEMPENHO (NBR 15.575): ESTUDO DE CASO PARA VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DESSE AGREGADO NA PARAÍBA¹

Kevin Bezerra Ibiapina
Maria da Conceição Araújo Pereira
Karla Simone da Cunha Lima Viana
Caylanne Mendes de Souza
Emanuel Jeronymo Lima Oliveira
Caroline Muñoz Cevada Jeronymo

RESUMO

O presente trabalho apresentou a discussão da produção de agregados leves com resíduos, análise da utilização de argila expandida em concreto leve com foco em durabilidade e desempenho, bem como a verificação da viabilidade de produção de agregado leve na Paraíba, objetivando obter um vasto referencial teórico. A metodologia deu-se a partir de pesquisa bibliográfica a partir de periódicos reconhecidos e bibliografia relevante. Apresentaram-se como resultados o desenvolvimento de uma base de dados contendo as normas e referências na produção de agregados leves, os requisitos e características mínimas para fabricação desse agregado, estudos de utilização de argilas expandidas fabricadas com resíduos em sua composição, identificação das jazidas de argila na Paraíba e sua caracterização para identificar se sua matéria prima pode ser utilizada na produção de argila expandida e realização de estudo sobre o uso de concreto produzido com esses agregados leves.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos; Agregado leve; Concreto leve; Desempenho.

INTRODUÇÃO

O modo que a indústria da construção civil vem lidando com a gestão dos recursos naturais tem feito com que as novas soluções tecnológicas sejam criadas com o foco em reduzir os impactos ambientais e assim ajudar a construir uma sociedade cada vez mais consciente e autossustentável. A utilização das argilas expandidas para produção de concreto leve substituindo o agregado graúdo do concreto diminui o peso das estruturas, por consequência, diminui a robustez delas, proporcionando uma economia no uso de materiais que são extraídos da natureza, tais como areia, brita e cimento que é um material produzido de maneira a afetar

¹ Pesquisa fomentada pela Chamada 02/2021 - Edital de Pesquisa Interconecta, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba.



negativamente o meio ambiente (SCOBAR, 2016). Além de todas essas vantagens ambientais, a produção local de argila expandida diminui o custo com transportes, o que também auxilia na conservação do meio ambiente pois evita emissão de CO₂ gerada durante esse transporte, bem como diminui o consumo de combustível e pneus que é um material que tem sua destinação final prejudicial ao meio ambiente.

Na construção civil, agregados leves, são usados principalmente em concretos leves de função estrutural ou enchimento, devidos ao seu baixo peso e suas características isolante térmico-acústico. A escolha da argila expandida como substitutivo do agregado convencional, tem como objetivo compreender melhor os aspectos de agregados regionais e analisar a viabilidade de sua produção. A utilização do concreto com argila expandida promove menores esforços nas estruturas, conforto térmico e acústico, economia em fôrmas e cimbramentos, além da diminuição de custos com transporte e montagem de construções pré-fabricadas (SCOBAR, 2016).

De acordo com Silva (2005), a bentonita é um tipo de argila e, sendo assim, é constituída essencialmente de um mineral que é chamado de argilomineral. Ademais, pode-se notar que as argilas são bastante abundantes em vários lugares do mundo, especialmente as bentonitas. O comércio mundial utiliza bastante esse tipo de material em várias atividades econômicas e essa movimentação pode ser bastante significativa na economia do país e da região em que estão localizadas.

O mercado da bentonita está muito concentrado nos EUA, que é o maior produtor mundial e conta com elevados investimentos aplicados nessa indústria, o que vem acarretando diversificação no seu uso e aplicação. A Paraíba é um estado brasileiro que possui uma das principais reservas de argilas bentonitas do Brasil, junto com São Paulo, Bahia e Piauí. Na Paraíba foram identificados grandes depósitos em Boa Vista, Cubati, Pedra Lavrada, Sossego e Olivedos (PEREIRA *et al.*, 2014; BASTOS *et al.*, 2017).

No Brasil, a primeira empresa a produzir agregados leves para ser utilizado em concreto, agregados de argila expandida, foi a Cinasita, em 1968, na cidade de Jundiá. O volume de produção era em torno de 7500 m³ de agregado, que eram utilizados na confecção de elementos pré-fabricados com vários tipos de seções e mais adiante na produção de unidades habitacionais (ROSSIGNOLO, 2009).

A argila expandida pode ser definida como um agregado leve que pode ser encontrado em elementos cerâmicos e tem sua estrutura formada por uma espuma cerâmica que apresenta



microporos e uma casca rígida e resistente. O agregado sintético é produzido com argila ou se origina de resíduos que apresentam um peso específico menor do que os agregados encontrados comercialmente. Algumas propriedades que a argila expandida apresenta são: forma e textura, resistência mecânica, porosidade, absorção de água e massa específica (SANTOS, 2019).

De acordo com Mehta e Monteiro (2014), quanto mais poroso, menor a densidade de um agregado leve e sendo assim mais frágil a sua estrutura, tais agregados são mais adequados para aplicação em concretos com funções isolantes. Agregados leves com estruturas internas de poros finos e uniformemente distribuídos, no entanto, são resistentes e mais adequados para produção de concreto leve estrutural. Além disso, consoante com Rossignolo (2009), as dimensões e a granulometria dos agregados também influirão de maneira direta nos seus valores de massa específica e da resistência à compressão dos concretos leves, logo tais características também devem ser observadas para o estudo e escolha de um agregado leve. Como o principal agregado leve comercializado no Brasil para a produção de concretos leves ainda é a argila expandida e sua produção encontra-se concentrada na região Sudeste do país, a difusão do concreto leve, para as outras regiões do Brasil, principalmente Norte e Nordeste, acabam sendo dificultadas, devido à grande distância do centro de fabricação desse agregado (SOUSA, 2020). O concreto leve é um material de estrutura porosa, com propriedade de isolante térmica e refratárias, sua principal característica é possuir baixa massa específica, em comparação com os concretos convencionais (MAYCÁ, *et al.*, 2009). Para verificar a durabilidade e o desempenho dos materiais produzidos, sejam eles para construção ou as próprias edificações, se faz necessário consultar e utilizar as normas vigentes que tratam sobre tal assunto.

A ABNT NBR 15575-1 nos diz que a avaliação do desempenho tem como objetivo analisar a adequação ao uso de um sistema ou de um processo construtivo que é destinado a atender uma função, independente da solução técnica que seja adotada. A adoção de sistemas construtivos inovadores e tecnológicos é tendência desde o surgimento da NBR 15575 (ABNT, 2021), tal norma trata sobre o desempenho de edificações habitacionais e tem como objetivo traçar uma relação entre os produtos utilizados em uma obra e a sua durabilidade e qualidade de uso.

JUSTIFICATIVA

Há a necessidade de fomentar estudos e pesquisas por novas fontes de matérias primas que sejam de fácil acesso e que possibilite uma distribuição melhor de agregados leves, reduzindo custos de produção de concreto leve e disseminando essa tecnologia, bem como



reduzindo custo dos transportes e reduzindo os impactos ambientais causados pela extração de matéria prima utilizada na construção civil e os impactos ambientais com o aumento da necessidade de transportes dessas matérias primas.

Na Paraíba há diversos depósitos de argilas, dessa forma, o estudo dos locais e características desses depósitos, identificando se existe viabilidade de produção a partir de suas características químicas, serve como passo inicial para mostrar a viabilidade do desenvolvimento de argilas expandidas locais, sua produção com resíduos locais e a disseminação do uso desse material como agregado no concreto.

METODOLOGIA

Esta pesquisa é qualitativa de natureza exploratória, iniciou-se com a realização de uma pesquisa bibliográfica, onde foram selecionados trabalhos científicos, bem como bibliografias da área, que fossem pertinentes ao campo de estudo. Destes trabalhos foram realizados fichamentos e estudos dirigidos, ambos com o intuito de filtrar e relacionar informações a respeito das características dos agregados leves, sua produção e matéria prima, seus tipos e requisitos para utilização em concretos leves estruturais. Além disso a criação de tal banco de dados possibilitou o estudo de algumas jazidas de argilas no mundo e no Brasil que já produzem argila expandida com características comercializáveis e comparar com as jazidas da Paraíba onde foram extraídas características da sua composição química afim de estabelecer uma relação de viabilidade de produção pela similaridade dessas características e o atendimento a parâmetros estabelecidos de produção.

JAZIDAS DE ARGILA NO BRASIL E NO MUNDO

As jazidas de argila são muito utilizadas em algumas regiões do Brasil e em muitas partes do mundo. Um tipo de argila muito comum no Brasil são as bentonitas. De acordo com Silva (2005) a bentonita é um tipo de argila e sendo assim é constituída essencialmente de um mineral que é chamado de argilomineral.

Segundo estimativas realizadas no início da década de 90 pelo “Bureau of Mines” dos EUA, há no mundo cerca de 1,36 bilhões de toneladas de bentonita, com os EUA possuindo mais da metade desse total, a ex-URSS cerca de 17% e a América do Sul menos de 2%. Com relação à produção mundial, os EUA estão na ordem de 4 milhões de toneladas de bentonita/ano, ficando o Brasil entre os dez principais produtores com cerca de 100.000 toneladas/ano (SILVA, 2005, p. 34).

Pode-se notar que as argilas são bastante abundantes em vários lugares do mundo, especialmente as bentonitas. O comércio mundial utiliza bastante esse tipo de material em



várias atividades econômicas e essa movimentação pode ser bastante significativa na economia do país e da região em que estão localizadas.

TIPOS DE AGREGADOS LEVES

Agregados leves são materiais de estrutura porosa e de baixa massa específica, podendo ser de origem natural ou artificial, na construção civil são usados principalmente em concretos leves de função estrutural ou enchimento, devidos ao seu baixo peso e suas características isolante térmico-acústico. Estes materiais podem ser naturais ou artificiais. Os agregados leves naturais são encontrados e extraídos de jazidas e usados no concreto da forma que são coletados, isto é, sem nenhum processo químico e/ou industrial, como é o caso dos agregados leves industriais. Os principais agregados leves artificiais produzidos, atualmente, são a Argila Expandida, a Vermiculita e a Escória de Forno.

A argila expandida é um agregado leve do tipo artificial e possuem granulometria que podem variar de 0,1 a 25 mm, podendo assim também ser classificada como agregado finos, agregados graúdos. A leveza da argila expandida está associada à sua grande porosidade, sendo assim um agregado que possui grandes espaços aéreos ela possui massa específica em torno de 250 a 710 kg/m³, o que depende principalmente da sua dimensão (RASHAD, 2018).

A escória vulcânica é um dos tipos de agregados leves naturais de origem vulcânica, estes tipos de agregado leve possuem estruturas que os tornam altamente poroso e com grande área superficial, além de possuir baixa massa específica (1100 kg/m³). A escória vulcânica pode ser encontrada com diferentes tamanhos e cores, porém a mais encontrada possui cor avermelhada e preta, devido ao seu alto teor de ferro, tal agregado por ser leve tem sido bastante utilizado como agregado leve na produção de argamassas e concretos (TCHAMDJOU et al., 2017). Rossignolo (2009) esclarece os agregados leves artificiais são obtidos em processos industriais e, normalmente, são classificados com base na matéria-prima utilizada e no processo de fabricação, como a argila expandida e a escória sinterizada.

PRODUÇÃO DE AGREGADO LEVE COM ARGILA EXPANDIDA

A argila expandida pode ser definida como um agregado leve que pode ser encontrado em elementos cerâmicos e tem sua estrutura formada por uma espuma cerâmica que apresenta microporos e uma casca rígida e resistente. O agregado sintético é produzido com argila ou se origina de resíduos que apresentam um peso específico menor do que os agregados encontrados comercialmente. Algumas propriedades que a argila expandida apresenta são: forma e textura, resistência mecânica, porosidade, absorção de água e massa específica (SANTOS, 2019).



NORMAS E REFERÊNCIAS NA PRODUÇÃO DE AGREGADOS LEVES

A NBR 12655 (ABNT, 2015) classifica como agregado leve aqueles de massa específica menor ou igual a 2000 kg/m^3 em termos comparativos, o agregado leve é duas vezes mais pesado que a água, que possui massa específica de 1000 kg/m^3 . A NBR NM 35 (ABNT, 1995), os agregados leves devem apresentar valores de massa unitária no estado seco e solto, abaixo de 1120 kg/m^3 , para agregados miúdos, e de 880 kg/m^3 , para agregados graúdos, além disso a NBR NM 35 (ABNT, 1995) define que agregados leves devem ser compostos predominantemente de material granular leve, celular e inorgânico.

REQUISITOS E CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS LEVES

A resistência mecânica (f_k) e o módulo de deformação (E) dos agregados leves dependem da estrutura interna desses materiais, principalmente do seu grau de porosidade. Quanto maior o grau de porosidade menos resistente será tal agregado leve (CHANDRA; BERNTSSON, 2002). Para considerar o grau de porosidade é preciso analisar a distribuição e tamanho dos poros, além de da capacidade de absorção de água do mesmo, esta última prerrogativa tem bastante peso quando se trata da mistura do agregado leve no concreto, uma vez que o fator água/cimento é de grande valia na resistência característica do mesmo (ROSSIGNOLO, 2009)

AGREGADOS LEVES COM A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS EM SUA PRODUÇÃO

Santos (2019), em seu estudo utilizou serragem para produzir uma argila expandida e utilizá-la como agregado leve. Foram adicionadas porções de argila com 5%, 10% e 20% de serragem, sendo suas respectivas massas específicas aparentes 880, 1100 e 1115 kg/m^3 , então verificou-se que em todas as adições, estão dentro dos limites da NM 35 (1995) para agregado leve.

Takahashi e Muccillo (2007) utilizaram resíduo de escória de alumínio em argila expandida, foram produzidas argilas expandidas com incorporação de 5%, 10%, 15% e 20%. Com os testes realizados e os dados obtidos mostraram que a massa específica aparente das amostras ficou entre 600 kg/m^3 e 1600 kg/m^3 , sendo a média 1350 kg/m^3 , podendo assim ser classificado como um agregado leve. O concreto produzido com o agregado leve modificado possui massa específica aparente de 300 a 1350 Kg/m^3 , sendo concreto leve conforme a NM 35 (1995).

Lucas e Azambuja (2020) realizaram um estudo com o objetivo de fazer uma avaliação experimental da resistência de concreto leve elaborado com argila expandida produzido com a



substituição de 20% da areia natural por areia de britagem, proveniente de pedra basáltica e com adição de plastificante. Foi obtido um agregado de massa específica aparente de 1110 Kg/m³, sendo considerado leve segundo a NM 35 (1995). No traço 1, de referência, foi produzido a argila somente com areia natural, e no traço 2, com substituição de 20% de areia natural por areia de britagem, sendo obtido este traço um concreto de massa específica aparente de 1680 kg/m³.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão a partir de publicações de trabalhos relevantes na área mostrou que é possível produzir um concreto leve com a substituição do agregado graúdo por argila expandida, atendendo aos requisitos normativos vigentes e seu uso na construção civil traz uma série de vantagens, dentre elas a diminuição do peso da estrutura da obra, diminuindo a robustez das fundações e diminuindo o consumo de matérias primas que são extraídas da natureza, dentre outras vantagens tais como conforto térmico e acústico.

Esta análise também proporciona o conhecimento de que as jazidas de argila do estado da Paraíba são abundantes e suas características, que são fundamentais na produção de argila expandida, são similares as jazidas de argila que produzem e comercializam este material no Brasil. Dessa forma, os resultados dessa pesquisa irão servir de base de dados para desenvolvimento de outro projeto onde serão confeccionadas argilas expandidas com matéria prima Paraibana e realizados todos os testes e ensaios necessários para caracterizar este material e comprovar que podemos produzir argila expandida local e disseminar seu uso na construção civil.

O presente trabalho concluiu seus objetivos, de forma que as publicações estudadas conseguiram abranger todas as problemáticas geradas pelas temáticas que circundam o conteúdo abordado sobre argila expandida e suas aplicações. Por conseguinte, a implicação gerada pela pesquisa proporcionou crescimento acadêmico para toda a equipe, além de enriquecer a literatura que carece de estudos relacionados nesta área.

REFERÊNCIAS

BASTOS, P. M.; et al. Modelagem de propriedades reológicas de argilas esmectitas do estado da Paraíba para uso em fluidos de perfuração de poços de petróleo. **Cerâmica**, 2017.

CHANDRA, S; BERNTSSON, L. Lightweight Aggregate Concrete. Science, Technology and Applications. **Chalmers University of Technology Göteborg**. Sweden, 2002.



LUCAS, C. N. M.; AZAMBUJA, M. A. Análise experimental da resistência do concreto leve produzido com resíduo de pedra basáltica. In: **IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO URBANA**, 2020, São Paulo. p. 1-19. Disponível em: <https://www.eventoanap.org.br/data/inscricoes/7615/form4001211738.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2021.

MAYCÁ, J.; CREMONINI, R. A.; RECENA, F. A. P. Estudo da resistência à compressão de concretos leves produzidos com argila expandida nacional. **Congresso Brasileiro do Concreto**, 2009, Curitiba. Anais.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. Ed. São Paulo, 2014.

PEREIRA, I. D. et al. Estudos de caracterização dos novos depósitos de argilas esmectíticas do município de Sossego, PB. **Cerâmica**, 2014.

RASHAD, A. M. Lightweight expanded clay aggregate as a building material –An overview. **Construction and Building Materials**, v. 170, p. 757–775, 2018.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura, aplicações**. São Paulo, 2009.

SANTIS, B. C. et al. Caracterização de massas cerâmicas do estado de S. Paulo para produção de agregados leves para concreto. **Cerâmica**, 2013.

SANTOS, F. L. A. Desenvolvimento de agregado leve com a adição de serragem. 2019. **Monografia (Graduação em engenharia civil) - Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia de Sergipe - Campus Estância**, Estância, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifs.edu.br/biblioteca/bitstream/123456789/927/1/Fernando%20Luis%20de%20Andrade%20Santos.pdf> Acesso em: 05/07/2021

SCOBAR, R. L. Concreto leve estrutural: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida. **Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. Campo Mourão, 2016.

SILVA, A. A. Estudo de argilas organofílicas destinadas à separação óleo/água. **Dissertação (Pós – Graduação em Engenharia Química) - Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás**. Campina Grande, 2005.

SOUSA, J. T. F. Propriedades de concretos leves autoadensáveis com agregados leves artificiais produzidos a partir da calcinação de resíduos agroindustriais e de mineração. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte**. Natal, 2020.

TAKAHASHI, E.A.N. MUCCILLO, E.N.S. Estudo da possibilidade de incorporação de resíduo da indústria de reciclagem de alumínio em argila expandida. **51º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, Salvador, 2007. Disponível em: https://abceram.org.br/wp-content/uploads/area_associado/51/artigos/51cbc-14-03.pdf Acesso em: 10/07/2021.

TCHAMDJOU, W. H. J. et al. An investigation on the use of coarse volcanic scoria as sand in Portland cement mortar. **Case Studies in Construction Materials**, v. 7, p. 191–206, 2017.



CAPÍTULO 27

USO DE HIDROGÊNIO COMO FONTE DE ENERGIA

Yasmin Teles Barboza
João Victor Teixeira Neves
Claudio Borba
Marilia Rafaela Oliveira

RESUMO

O cenário energético mundial é abastecido, em sua totalidade, por combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão). No entanto, essas fontes são grandes responsáveis pela emissão dióxido de carbono (CO_2), cuja ação gera mudanças climáticas indesejadas para a Terra, por meio da geração de gases de efeito estufa. Tal problemática implica na busca por soluções que sejam capazes de frear – ou reduzir – os efeitos provenientes desses combustíveis e, como consequência, o interesse por questões ambientais vem crescendo e sendo bastante estudado nos últimos anos. Sabe-se que atualmente existem formas sustentáveis de produzir energia, como, por exemplo, geração de energia solar, eólica, dentre outras. Todavia, estas fontes são limitadas devido à sua forma de obtenção. E quando se atenta a tal ponto, o hidrogênio surge como principal fonte de energia, se destacando por ser produzido dentro de toda e qualquer fonte de energia primária e com rotas limpas. Estudos mostram que o hidrogênio tem grande potencial para substituir os combustíveis fósseis na questão energética e que tal prática é completamente viável. Hoje o hidrogênio é um dos combustíveis mais desejados da atualidade por apresentar grande poder energético, queima e consumo em ambos os estados físicos, grande disponibilidade, além de se conectar com vários setores da economia. Uma das alternativas estudadas no mundo é a injeção de hidrogênio em redes de gás natural, e visando sua importância, o presente trabalho relata sobre energias limpas, os avanços e cenários (tecnologias) disponíveis para obtenção de hidrogênio como energia limpa, tendo como metodologia aplicada um estudo de caso realizado em uma Universidade do Reino Unido, ele foi dividido em três fases: experimentos laboratoriais a fim de conseguir permissões regulatórias, instalações de equipamentos e aplicação prática.

PALAVRAS-CHAVE: Dióxido de Carbono. Gás natural. Hidrogênio.

INTRODUÇÃO

A demanda global por energia tem aumentado nos últimos anos devido ao aumento populacional e a mudança no padrão de vida das pessoas (ACAR e DINCER, 2020). Em vista disso, entende-se que a energia é crucial para a manutenção da vida dos seres vivos, bem como no cumprimento de um papel de vital importância nos ramos socioeconômicos de um país. Por ser considerada como uma “mercadoria estratégica” é importante que haja uma segurança em seu fornecimento, pois sem esta, o bom funcionamento do sistema econômico está ameaçado, sobretudo nos países que ainda estão em desenvolvimento (PARREK *et al.*, 2020).



Contudo, é fundamental que se tenha um planejamento energético que assegure um suprimento de energia em longo prazo, capaz de resolver questões ligadas aos possíveis danos ambientais, à demanda e a pobreza energética. Atualmente, essas necessidades energéticas são supridas por combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural). No entanto, tais recursos, considerados não renováveis, têm estoques cada vez menores de energia, logo são insustentáveis tanto por não acompanhar o aumento da demanda de energia, causado pela rápida urbanização, quanto por apresentar um impacto negativo ao meio ambiente (PAREEK *et al.*, 2020).

Diante disso, entende-se que o cenário mundial é de constante busca por tecnologias sustentáveis alternativas que sejam capazes de reduzir a emissão de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera. Isso porque o CO_2 é visto como o maior responsável pelo aumento na geração de gases de efeito estufa (GEE), o que acarreta no aquecimento global e mudanças climáticas (GARCÉS-POLO *et al.*, 2016; WANG *et al.*, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2019).

SELAAM e colaboradores (2020) afirmam que no futuro os sistemas energéticos serão baseados em fontes de energias sustentáveis de baixo carbono e livre de emissões poluentes. Esses esforços são esperados para tentar amenizar os problemas ambientais no futuro. Por tal, vários países industrializados, e em desenvolvimento, vêm criando regulamentações ambientais e soluções a fim de mitigar a emissão de CO_2 na atmosfera (ACAR *et al.*, 2016; LAKHI *et al.*, 2016; PARREK *et al.*, 2020).

A busca por inovações energéticas sustentáveis tem atraído novos investimentos em pesquisas e tecnologias, cujo objetivo é fazer um uso adequado e consciente das fontes renováveis de energia. Dentre as alternativas existentes, as mais conhecidas hoje são a energia eólica, a hidráulica, a marinha, a solar, a geotérmica e a biomassa (SEELAM *et al.*, 2020; CSIRO, 2018). Entende-se que é importante explorar os recursos energéticos renováveis para que seja possível atender as demandas futuras de energia.

Por conta disso, o hidrogênio se destaca por apresentar grande potencial para se consolidar como principal fonte de energia sustentável no futuro. Estudos mostram que o hidrogênio se tornou parte importante da matriz energética limpa necessária para garantir um futuro sustentável, pois, além de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e ser o elemento mais abundante no universo e o terceiro mais abundante da crosta terrestre, trouxe um impulso político e comercial sem precedentes (NASCIMENTO e ALVES, 2016; ALEASOFT, 2020).



Nos últimos anos, a demanda anual global por hidrogênio ultrapassou 70 milhões de toneladas e mais do que triplicou desde 1975. O hidrogênio se tornou importante não só por ser sustentável, mas por conseguir se conectar com vários setores da economia. Por exemplo, o H_2 é utilizado como insumo no refino de petróleo para a produção de amônia (GHAVAM *et al.*, 2021) e metanol (DAIYAN *et al.*, 2020), na fabricação de aço (LEAL, 2021), pode ser utilizado como combustível para qualquer tipo de transporte, para o armazenamento de energia, na geração de energia, entre outros (ALEASOFT, 2020; PRF, 2020).

É importante que se estude os avanços e as possibilidades existentes nas fontes energéticas renováveis de hidrogênio. SMITH *et al.*, (2005) afirmaram que “*Do ponto de vista geológico, o hidrogênio foi negligenciado*”, e partindo dessa afirmação, o presente estudo tem como principal objetivo avaliar o uso do hidrogênio como uma das fontes de energia do futuro, explicitando, de forma concisa, as perspectivas futuras e presentes, vantagens e desvantagens frente às demais energias renováveis. Assim, será feito um estudo de caso sobre uma mistura gasosa de hidrogênio e gás natural utilizada como fonte de energia em uma Universidade do Reino Unido, tendo como propósito estudar sobre uma possível aplicação no Brasil.

ENERGIAS RENOVÁVEIS

A preocupação com a conservação ambiental tem levado a sociedade a repensar na sua forma de consumo, uma vez que, tendo em vista os impactos ambientais causados pelo uso exacerbado desses combustíveis, o interesse por opções energéticas mais eficientes, limpas, sustentáveis e economicamente mais positivas para o meio ambiente tem aumentado nos últimos anos (BARBIERI, 2007; ELKINGTON, 2012). Isso é evidente devido aos esforços conjuntos de vários países, como é o caso do Acordo de Paris de 2015, que tem o objetivo de frear a concentração de CO_2 e outras emissões de gases de efeito estufa no planeta até 2050 (ACAR *et al.*, 2016; JOHANSSON *et al.*, 2018).

Com a atenuação no uso dos combustíveis fósseis, as fontes de energia renováveis são fortes candidatas para atender as necessidades futuras de energia livres de emissão de carbono (ACAR e DINCER, 2020). Hoje, inúmeras são as opções existentes entre as fontes renováveis disponíveis em direção ao desenvolvimento de energia em larga escala graças à rápida expansão no uso das energias limpas. Por consequência, criaram-se muitas opções na exploração dessas fontes, cujas alternativas são: energia solar, eólica, biomassa, geotérmica, hidrelétrica, entre outras (PARREK *et al.*, 2020).



Apesar de todas as energias citadas acima apresentarem caráter renovável, em sua totalidade, vão depender de aspectos físicos e/ou geográficos para que sejam obtidas. E, tendo em vista tal limitação, há a necessidade de se estudar novas formas de geração de energia limpa ou de transformar as existentes. Dessa forma, o hidrogênio vem sendo bastante estudado por exibir grande potencial energético e versatilidade de geração, pois, diferentemente das outras fontes renováveis, este não depende de questões geográficas.

HIDROGÊNIO

O hidrogênio é um dos elementos mais abundantes da Terra e o mais leve dos elementos químicos, sendo bastante encontrado em compostos orgânicos e na água, correspondendo à cerca de 90% do universo (ABDIN *et al.*, 2020; PAREEK *et al.*, 2020). Quimicamente falando, é o elemento mais simples da tabela periódica, formado por um elétron e um próton, sendo um gás (H_2) inodoro, incolor e altamente inflamável (DAWOOD *et al.*, 2020).

O recente entusiasmo com o hidrogênio como combustível alternativo se dá por ser potencialmente verde, em virtude de apresentar propriedades como queima limpa, célula combustível e ser cerca de 2 a 3 vezes mais eficiente que a gasolina. Na década de 70, esse gás foi bastante utilizado pela NASA para impulsionar foguetes e espaçonaves devido a sua grande densidade energética (PAREEK *et al.*, 2020).

Quando comparado à gasolina, o H_2 apresenta maior potencial calorífico, no entanto o hidrogênio líquido possui menos densidade de energia por volume, enquanto o gás hidrogênio tem boa densidade de energia por peso, porém baixa densidade de energia por volume em relação aos hidrocarbonetos, portanto, requer um tanque maior para armazenar (DAWOOD *et al.*, 2020). Todavia, o principal obstáculo na utilização do hidrogênio como combustível é a sua geração pura (PAREEK *et al.*, 2020).

Com base no trabalho de BALAT (2008), o hidrogênio pode ser produzido por toda e qualquer fonte de energia primária. O principal meio de produção de hidrogênio utilizado nos dias de hoje é a reforma a vapor, cuja metodologia se baseia na conversão de combustíveis fósseis o que representa, aproximadamente, 96 % dos processos de produção de H_2 (BADWAL *et al.*, 2012).

No entanto, a produção de hidrogênio mediante ao uso dos recursos fósseis acarreta na coprodução de CO_2 , e, tendo isso em vista, é importante que haja um caminho de energia sustentável para que seja possível uma futura mudança para utilização do hidrogênio, ou seja, faz-se necessário a produção desse gás por meio de fontes limpas e de caráter renovável (ACAR



et al., 2016A). Cerca de 4 % de hidrogênio é produzido de forma sustentável via eletrólise ou gaseificação de biomassa (ZHANG *et al.*, 2020).

FONTES HIDROGÊNIO: RENOVÁVEL X NÃO RENOVÁVEL

Os diferentes processos de geração de hidrogênio ganharam grande destaque nos últimos anos por realizar um papel importante na integração dos sistemas energéticos, criando uma ponte na transição econômica entre as fontes energéticas não renováveis para as renováveis. Os métodos de produção utilizados são importantes por determinarem a eficácia, o custo-benefício e a limpeza. Para mais, a limpeza do H₂ é classificada em três diferentes cores (cinza, azul e verde), as quais são determinadas exclusivamente pelo tipo de energia ou tecnologia adicionada na produção do hidrogênio (DAWOOD *et al.*, 2020).

O Hidrogênio Cinza (C) é o mais utilizado no mundo por ter um custo mais baixo de produção e apresentar um produto puro. Entretanto não é considerado sustentável, por ser proveniente de materiais fósseis (carvão, petróleo, gás natural) por meio de processos térmicos, acarretando a liberação de CO₂ no meio ambiente. O Hidrogênio Azul (A) também é gerado a partir de materiais fósseis e é o segundo tipo mais utilizado, no entanto, ele se diferencia por ter a capacidade de atuar no armazenamento e captura de CO₂. Por fim, tem o Hidrogênio Verde (V), quando comparado com os outros, este tem o custo de produção mais elevado, contudo, apresenta uma fonte de produção 100% renovável, resultando em zero emissão de carbono (PRF, 2020).

No entanto, o processo de divisão de cores é falho, uma vez que não há precisão de quão limpo é o hidrogênio, pois não quantifica precisamente a quantidade de gases de efeito estufa que é emitida em seus processos. De acordo com a literatura, existem quatro categorias principais para a produção de hidrogênio, que são eletrólise, termólise, fotólise e biólise, cujas rotas também são subcategorizadas de acordo com tipo de energia que foi utilizado durante o processo. Na Tabela 5, é possível visualizar um resumo das vias de produção do hidrogênio e seu grau de limpeza (DAWOOD *et al.*, 2020).



Tabela 1: Resumo sobre as fontes de hidrogênio, matéria prima e o nível de maturidade de tecnológica.

Processos	Matéria prima	Eficiência (%)	Limpo (C/A/V)	TML (1-10)
Reforma a Vapor	Não Renovável	60-85	C/A	10
Oxidação Parcial	Não Renovável	60-75	C/A	7-9
Autotérmica	Não Renovável	60-75	C/A	6-8
Gaseificação	Não Renovável	35-85	C/A	10
Eletrólise Alcalina	Renovável/Não Renovável	62-82	V/A	9-10
Eletrólise PEM	Renovável/Não Renovável	67-84	V/A	7-9
Eletrólise SOE	Renovável/Não Renovável	75-90	V/A	3-5
Fotoeletroquímica	Renovável	0,5-12	V	1-2
Biofotólise	Renovável	1,6-5	V	1-3
Ciclos termoquímicos	Renovável	20-55	V	1-3

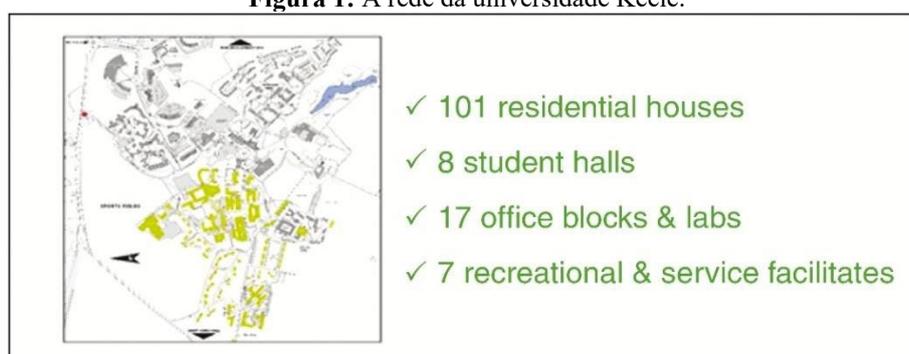
Fonte: Adaptado de DAWOOD *et al.*, 2020.

ESTUDO DE CASO

O presente estudo de caso será baseado no projeto escrito por Tommy Isaac no ano de 2019, intitulado *HyDeploy: The UK's First Hydrogen Blending Deployment Project*. Classificado como o primeiro projeto prático no Reino Unido, este tem por objetivo enriquecer o sistema de gás natural com o hidrogênio a uma composição de 20% molar, a fim de descarbonizar os sistemas energéticos. Vale ressaltar que todo o experimento tinha a finalidade de ser realizado sem a substituição de equipamentos e/ou qualquer interrupção eventual.

Conforme ilustrado na Figura 1, toda a metodologia foi aplicada no campus universitário Keele University e dividida em 3 fases distintas, alcançando um total de 101 residências domésticas, 8 corredores estudantis, 7 serviços recreativos e 17 blocos laboratoriais e escritórios. Assim, esse estudo de caso será dividido em 4 partes, cuja primeira, segunda e terceira parte abordará a metodologia e resultados, respectivamente, e a quarta parte trará de forma resumida, o potencial de aplicação da tecnologia no Brasil.

Figura 1: A rede da universidade Keele.



Fonte: ISAAC, 2019.



DESCRIÇÕES DA METODOLOGIA UTILIZADA NAS FASES 1, 2 E 3

A primeira fase do projeto consistia em comprovar que a adição de 20% molar de H₂ na rede de GN era segura. Sua realização deu-se em laboratório, durante o período de 18 meses. Os testes foram realizados em diversos eletrodomésticos, e tiveram como finalidade a obtenção de informações sobre as propriedades mecânicas da mistura em questão, assim como o comportamento do GN, pois toda a rede britânica suporta até 0,1 % molar de H₂.

Das 101 propriedades domésticas, 95 % foram avaliadas para verificar a confiabilidade das instalações e dos aparelhos existentes, sendo retirados do projeto aqueles não classificados como seguros ou apropriados. Durante a avaliação, os aparelhos foram submetidos a variações de gases contendo H₂ e pressão constante, no intuito de conhecer o comportamento de cada aparelho. Os testes de vazamentos também foram realizados com a rede neutra e misturada ao H₂. No final do teste, uma avaliação de risco foi realizada.

A segunda fase do HyDeploy baseia-se na construção e operação do projeto, que levou à injeção na rede Keele no verão de 2019. Esta fase foi responsável pela elaboração do eletrolisador e de uma unidade de entrada na rede responsável por misturar o H₂ na rede de gás natural. A última etapa foi o teste propriamente dito, o qual durou cerca de 10 meses. O objetivo do teste foi provar que o H₂ poderia ser misturado com segurança em uma rede de gás natural de 20 mol% sem comprometer a segurança dos usuários finais. Como consideração final, é importante ressaltar que todo o teste foi realizado com extremo rigor e por instituições certificadas.

RESULTADOS OBTIDOS NAS FASES 1, 2 E 3

Fase 1

- Características do gás

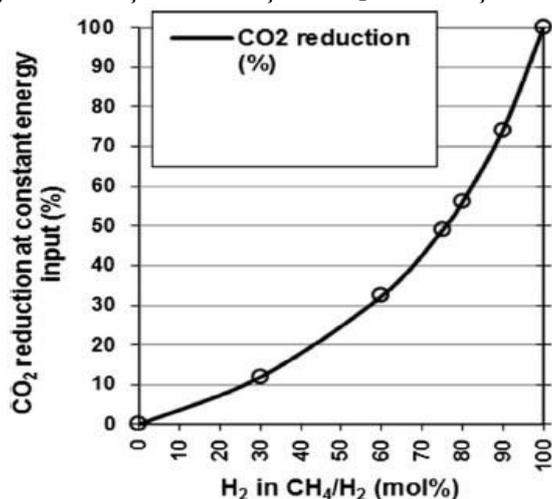
Recentemente, vários estudos vêm sendo discutidos acerca da quantidade máxima de misturas com hidrogênio. Um dos principais indicadores de combustão são o índice Wobbe e velocidade laminar da chama. O índice Wobbe aborda a capacidade energética do gás. No que tange à mistura de hidrogênio, sua capacidade vai diminuir consideravelmente, por exemplo, se antes da adição do hidrogênio o índice estava em 10 %, após a adição, cairá para 3 % (MELAINA *et al.*, 2013; ALTFELD e PINCHBECK, 2013).

Quanto à velocidade laminar da chama, refere-se à velocidade que a chama alcança quando em contato com agentes oxidantes. O GN enriquecido com 20 mol % de hidrogênio



apresenta característica de combustão mais rápida (ISAAC, 2019), uma vez que, segundo Altfeld e Pinchbeck (2013), a cada 10 % de H₂ misturado no gás há um aumento na velocidade laminar de aproximadamente 5 %. O autor também afirma que a adição de hidrogênio acarretará na diminuição no dióxido de carbono, como observado na Figura 2. Se a mistura de 20% fosse implementada em toda a Grã-Bretanha, isso reduziria as emissões em 6 milhões de toneladas, que é equivalente a retirar 2,5 milhões de carros das estradas.

Figura 2: Relação entre adição de H₂ e diminuição de CO₂



Fonte: DE VRIES et al., 2017.

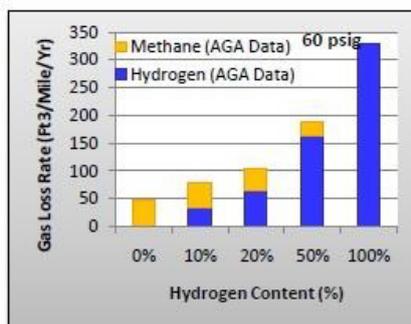
Um dos testes realizados nesse estudo foi o limite de inflamabilidade. Com ele é sabido que o H₂ possui um limite maior que o do GN. Assim, foi utilizado o Limite Inferior de Inflamabilidade (LFL), que é o ponto que quando as misturas gasosas entram em contato, se tornam perigosas (MELAINA *et al.*, 2013). Como resultado, foi observado que o metano com o H₂ a 20 % resultou na diminuição do LFL de 5 para 4,75 vol %, ou seja, esse é o limite mínimo para que se ocorra a combustão (ISAAC, 2019).

Em vista disso, a chance de ignição é maior para o gás enriquecido, por causa da redução da energia mínima de ignição e o aumento do limite superior de inflamabilidade (MELAINA *et al.*, 2013). O autor afirma que tanto o GN puro quanto enriquecido com o H₂ a 20 mol % tem chances de ocorrer a ignição. Outro ponto importante é a densidade do H₂. Por possuir densidade menor que a do GN, o H₂ vai apresentar uma flutuabilidade maior, logo, caso ocorra algum vazamento em lugar aberto, o H₂ vai se dissipar mais facilmente. Por apresentar uma molécula menor que a do GN, a taxa de vazamento do H₂ é maior, no entanto, o autor afirma que, segundo a literatura, os resultados mostram que não há impactos significativos econômicos e de segurança para o uso de GN com 20 mol % de H₂ (ISAAC, 2019). Ainda assim, acredita-se que a literatura engrandece os números referentes aos coeficientes de



permeação, pois, quando comparado aos resultados experimentais dos tubos submetidos à pressão, os da literatura são maiores (MELAINA *et al.*, 2013). Conforme Melaina *et al.* (2013), as moléculas de H₂ apresentam uma maior mobilidade, por conta disso, elas ajudam levemente a reduzir o vazamento de GN e, como consequência, reduziram o impacto causado por gases de efeito estufa por vazamento. Como pode-se observar na Figura 3, quando se adiciona 20% molar de H₂, a perda total não será tão grande e ele se dissipará mais rápido, diminuindo a vazão do GN e de outros elementos.

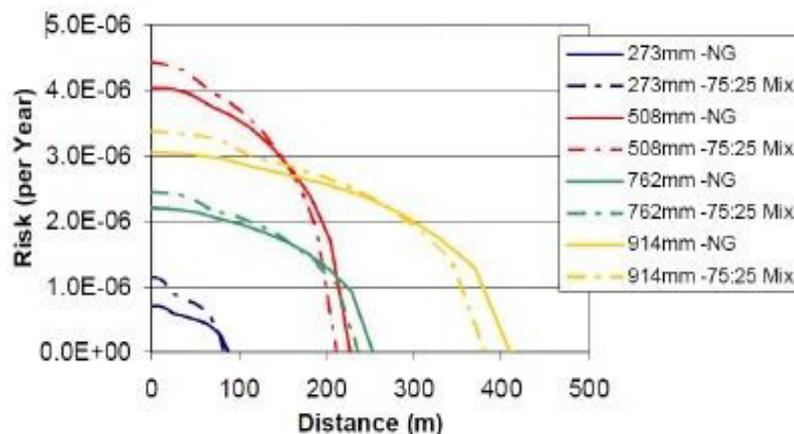
Figura 3: Taxa de perda para metano e hidrogênio em uma tubulação de PE em 60 psig. Eixo x: quantidade de hidrogênio adicionado na mistura; Eixo y: Taxa de perda total.



Fonte: MELAINA *et al.*, 2013.

Em ambiente aberto, o H₂ será mais seguro do que o gás natural, pois se dissipa mais rapidamente no ar. Já em ambiente fechado, a chance de acúmulo do H₂ é maior, tornando-se um perigo. ISAAC (2019) afirma que gás natural puro ou com 20 mol % de hidrogênio tem risco de acidente similares. Isso pode ser visto na Figura 4, em que a adição de 25 mol % de hidrogênio apresenta um maior risco de fatalidade, conforme observado ao longo do eixo y, entretanto, o raio do acidente diminuirá, como mostrado no eixo x, para qualquer diâmetro da tubulação. Mesmo assim, as diferenças nos eixos x e y, entre os dois gases, é muito pequena.

Figura 4: Risco para um indivíduo por ano em função da distância do duto



Fonte: MELAINA *et al.*, 2013.



Existe uma classificação de grupo de gás que é responsável por definir todas as especificações necessárias de todo equipamento elétrico que possa ter contato com o gás, segundo a Classificação de Explosão Atmosférica (ATEX) do equipamento. O gás natural puro e o gás natural enriquecido são considerados gases IIA, dessa forma, qualquer equipamento classificado assim pode ser exposto à mistura de hidrogênio (ISAAC, 2019).

- Testagem em Aparelhos

Como resultado da primeira fase, um dos aparelhos testados foi o fogão a gás. Através dele, o autor constatou que mesmo com adição do hidrogênio ao sistema, a temperatura crítica dos componentes permaneceu em níveis aceitáveis, assim como não houve indicativos de superaquecimento ou desgaste, mesmo o termopar indicando uma variação na leitura. O indicativo de pressão permaneceu estável, conforme as especificações de segurança (ISAAC, 2019). A Figura 5 mostra a cor da chama neutra e enriquecida com hidrogênio.

Figura 5: A - 100 mol % de chama de metano e B - Metano + 28,4 mol% de chama de hidrogênio.



Fonte: ISAAC, 2019.

O teste de Boiler demonstrou que as características da chama contendo até 28,4 % mol de hidrogênio eram estáveis e alcançavam combustão completa, além das leituras de dióxido de carbono reagirem como o esperado: houve uma diminuição de até 0,5 % molar. A placa do queimador e do trocador de calor reagiram de forma semelhante do fogão a gás: ocorreu variação de temperatura, mas não o suficiente para danificar o material. Também foi constatado que a corrente de ionização por chama reduziu, embora não o suficiente para comprometer a segurança de proteção do aparelho (ISAAC, 2019).

A testagem de aparelhos tinha dois objetivos, o primeiro era baseado no entendimento do desempenho da mistura gasosa e o segundo diz respeito ao limite operacional dos equipamentos. Para tal, o teste foi realizado mediante a variação da composição do combustível, aumentando os níveis de hidrogênio até que aparecesse algum tipo de problema operacional. Foi notado que o principal efeito causado pelo enriquecimento é o aumento na velocidade da chama, podendo levar ao seu desaparecimento (ISAAC, 2019).



Também foi constatado que em alguns aparelhos o retorno da luz visível só era possível a 80 mol %, enquanto em alguns poucos o efeito só pode ser constatado quando chegava a 100 mol %, alguns foram queimados. Os testes realizados em laboratórios evidenciaram que todos os eletrodomésticos testados são capazes de operar de forma segura com o gás enriquecido com 28,4 % molar de hidrogênio. É importante ressaltar que os aparelhos a gás vendidos no Reino Unido são certificados com o gás de referência G222, que contém 23 mol % de hidrogênio (ISAAC, 2019).

- Teste em materiais de instalações

Entender como funciona a interação entre o hidrogênio e os materiais utilizados é de extrema importância quando se deseja avaliar a injeção de hidrogênio. Essa fase experimental foi dividida em três etapas. Na primeira, os materiais ficaram imersos durante 9 semanas a uma temperatura de 75 °C, a fim de avaliar a absorção de hidrogênio em amostragem em pó. A amostragem de pó e vareta certificou que, primeiro, uma parte dos materiais não houve uma absorção considerável do pó e, segundo, a outra parte liberou o pó absorvido durante o aquecimento, conforme visto na Figura 6 (ISAAC, 2019).

Figura 6: Câmara de imersão dos materiais.



Fonte: ISAAC, 2019.

A fase dois se inicia com a submersão das amostras por 6 semanas, a uma pressão de 1,5 bar, para a realização de testes mecânicos. As amostras foram mergulhadas em metano puro, hidrogênio puro e gás de referência G222. Os ensaios mecânicos de tração não apresentaram alterações perceptíveis nas propriedades de tração depois da exposição, como consequência, esses resultados demonstraram que a injeção de 20 mol % de hidrogênio não gera dano algum a rede Keele (ISAAC, 2019).

A terceira fase foi o teste de eletrofusão e compressão, cujo teste é importante para os

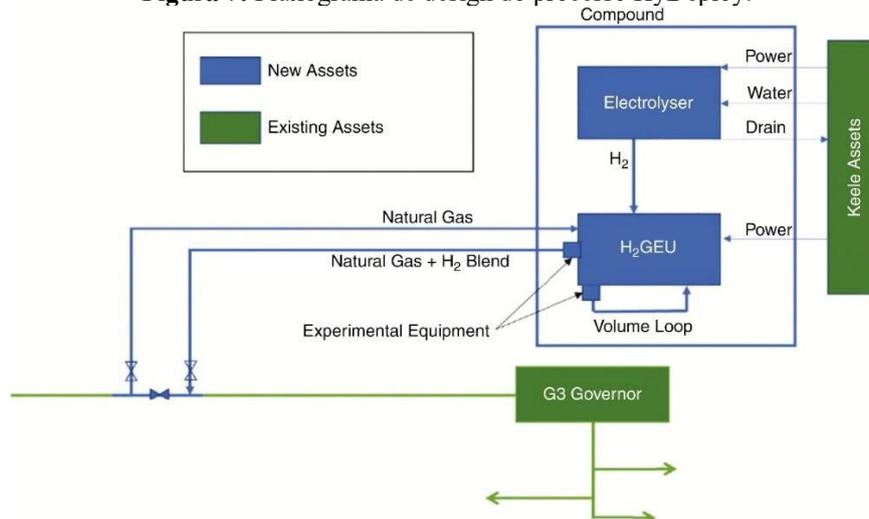


tubos de polietileno (PE). Após 6 semanas mergulhados em hidrogênio, espremidos e, posteriormente, submetidos a testes hidrostáticos, a tubulação passou em todos testes, garantindo, mais uma vez, que a presença do hidrogênio não interfere na integridade física do material (ISAAC, 2019). Com a finalização de as testagens de aparelhos da 1ª fase, o autor comprovou que não é esperado nenhum tipo de desgaste ou dano, na rede Keele. Dessa forma, é evidente a eficácia do enriquecimento de hidrogênio no gás natural (ISAAC, 2019).

Fase 2

A fase 2 teve por objetivo a preparação das instalações para a injeção de gás para iniciar o teste na pratica, e teve duração de 10 meses. De forma geral, essas instalações contaram com um eletrolisador (0,5 MW) e um H₂ GEU, além de pontos de amostragem que permite o monitoramento da rede, como visto na Figura 7 (ISAAC, 2019).

Figura 7: Fluxograma de design do processo HyDeploy.



Fonte: ISAAC, 2019.

A Keele Assets é responsável por alimentar o eletrolisador e o H₂ GEU, bem como fornece água e realiza a drenagem no eletrolisador. O eletrolisador produz o H₂ que é enviado para o H₂ GEU, cuja função é misturar os 20 mol% de gás hidrogênio no gás natural que chega. O gás que foi misturado passou pelo ciclo de volume com o objetivo de inspecionar a composição final da mistura antes de retornar à rede. Caso o gás misturado não atenda as especificações ou os equipamentos não funcionem, automaticamente a rede volta a funcionar somente com gás natural e o gás não especificado será eliminado. Os materiais experimentais são expostos ao gás durante o teste real e, em seguida, serão sujeitos a testes mecânicos (ISAAC, 2019).



Fase 3

A 3ª fase do projeto terminou em março de 2021, o teste teve duração de 10 meses. Esta etapa também foi bem sucedida, cujo o objetivo principal de demonstrar a viabilidade operacional e técnica da distribuição da mistura gasosa foi alcançado com sucesso. Foram utilizados cerca de 42.000 m³ de hidrogênio na Universidade durante a fase de teste e com isso conseguiu reduzir mais de 27 toneladas de CO₂. Entusiastas e Cientistas da Universidade Keele afirmam que todo o projeto foi executado com êxito e que a rede gasosa enriquecida com hidrogênio funcionou normalmente, sem relatos de falhas (HYDEPLOY, 2022).

Devido ao sucesso, Winlaton se tornou a primeira comunidade a receber uma mistura de hidrogênio através da rede pública. A vila é composta por 668 casas, pequenos negócios, uma igreja, escola primária e, com toda a certeza, está desempenhando um papel importante no futuro do uso de hidrogênio como fonte de energia limpa e frente a redução de CO₂ no meio ambiente. Winlaton é apenas a primeira comunidade a passar por essa transformação, pois o objetivo principal agora é expandir para todo o Reino Unido em até 10 anos (HYDEPLOY, 2022).

POTENCIAL PARA O BRASIL

Diante do que se foi explicitado até aqui, o estudo de caso escolhido se deu por causa do potencial brasileiro em reservas de gás e, conseqüentemente, seu uso. Nos últimos anos, houve um aumento no uso do gás natural no Brasil, inclusive no Estado de Sergipe. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2018), no ano de 2017, o gás natural foi a terceira matriz energética que mais cresceu em questão de consumo no Brasil. Pressupõe-se que até 2029, como visto na Figura 8, o uso de gás GN chegará a mais que o dobro do atual (EPBR, 2020).

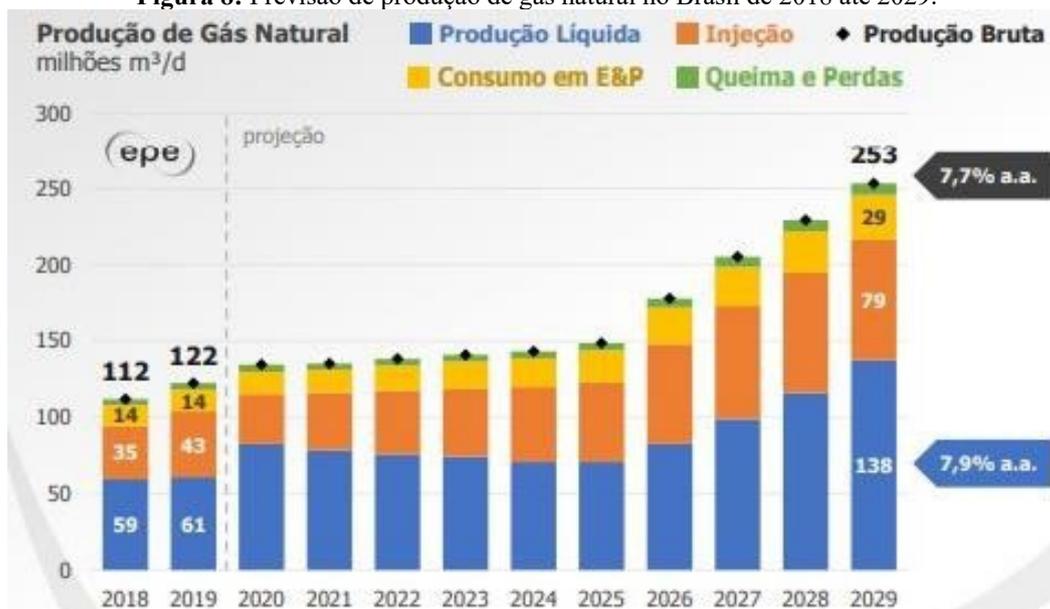
No entanto, sabe-se que há um aumento na liberação de CO₂. Por exemplo, no ano de 2018, o país foi responsável por emitir quase 446 milhões de toneladas de GEE só por meio dos combustíveis fósseis. Por essa razão, pensado em metodologias que possam ser aplicadas para tentar minimizar os danos ambientais, a adição de hidrogênio no gás natural se mostra como um possível rota economicamente viável aplicável. Já existem estudos visando tal aplicação no Brasil, como SEEG (2019).

Todavia, quando se faz um comparativo entre o Reino Unido e o Brasil, estima-se que a adição de 20 % de hidrogênio puro no metano não traria alterações significativas aos aparelhos que são alimentados pelas redes gasosas. Com relação aos limites inferiores e superiores do



poder calorífico, o Brasil apresenta valores de 35 MJ/m³ e 43 MJ/m³, respectivamente, exceto para o norte do país, enquanto no Reino Unido os valores são de 39 MJ/m³ e 45 MJ/m³. Já para o índice Wobbe, o Brasil apresenta valores entre 46 e 53,5 MJ/m³ e o Reino Unido entre 47,2 e 51,4 MJ/m³ (LORENZON *et al.*, 2020; ANDRADE *et al.*, 2019). Através disso, verifica-se que ambos os países apresentam especificações parecidas, portanto, o Brasil possui indicativos que possibilitam a aplicação de hidrogênio em concentrações iguais, ou parecidas, ao Reino Unido nas redes de gás natural sem infringir às especificações brasileiras.

Figura 8: Previsão de produção de gás natural no Brasil de 2018 até 2029.



Fonte: EPE, 2019.

Geralmente, o hidrogênio passa por alguns problemas durante o seu desenvolvimento devido ao seu alto custo de produção e transporte. Levando isso em consideração, o transporte via gasoduto se mostra viável em curto prazo uma vez que, primeiro, é economicamente aceitável, pois é visto como uma fonte alternativa para diminuir os custos de produção e ganhar tempo no decorrer da fase inicial de desenvolvimento do mercado de hidrogênio. Segundo, no que se diz respeito ao risco por se transportar gases inflamáveis por gasodutos, essa ideia já vem sendo abertamente aceita pelo público. Apesar de ser um uso provisório, uma maior exploração no uso desses gasodutos se mostra importante, as misturas de hidrogênio/gás natural à jusante têm potencial para serem usadas na geração de eletricidade, aquecimento direto ou fontes de hidrogênio puro por meio da separação a jusante de hidrogênio do gás natural (HU *et al.*, 2020).

CONCLUSÕES

Verifica-se que o hidrogênio tem grande potencial para substituir o petróleo como uma fonte limpa de energia. Por exemplo, conforme dito, o hidrogênio pode ser obtido por meio de



diferentes fontes, dentre elas, as livres de emissões de carbono, além de, quando comparado aos combustíveis, o hidrogênio apresenta alta densidade energética e maior eficiência energética também. Como qualquer nova descoberta, o uso do hidrogênio enfrenta algumas barreiras, como custos em termos de produção, armazenamento e transporte. No entanto, pesquisadores enxergam tal dificuldade com um incentivo para o mercado reduzir os custos, levando a abertura de empresas e/ou melhoria na eficiência das tecnologias.

O estudo de caso mostrou a eficácia da técnica de enriquecimento do gás com hidrogênio a uma concentração de 20 % molar. Com isso, é importante conhecer as características dessa mistura para que se compreenda o comportamento e desempenho desses fluidos tanto no que tange à eficiência quanto a segurança. As características do gás natural com hidrogênio terão um impacto significativo no tempo de vazamento. Quando testado no equipamento, não demonstrou alterações significativas quando comparado com o gás natural puro, pois atendeu a todas as especificações do Reino Unido. Os materiais de instalação foram testados, mas não há evidências de comprometimento da segurança. Desta forma, o estudo tem grande potencial para ser aplicado no Brasil, principalmente no Nordeste, uma vez que os dois países apresentam especificações de gás muito semelhantes.

REFERÊNCIAS

ABDIN, Z.; ZAFARANLOO A.; RAFIEE, A.; MÉRIDA, W.; LIPINSKI, W.; KHALILPOUR, K. R. **Hydrogen as an energy vector**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 120, 2020.

ACAR, C.; DINCER, I. **The potential role of hydrogen as a sustainable transportation fuel to combat global warming**. International Journal of Hydrogen Energy, vol. 5, p. 3396-3406, 2020.

ACAR, C.; DINCER, I.; NATERER, G. F. **Clear hydrogen and power from impure water**. Journal of Power Sources, vol. 331, p.189-197, 2016.

ALEASOFT ENERGY FORECASTING. **The green hydrogen is the fuel of the future**. Barcelona, ES. Disponível em: < <https://aleasoft.com/green-hydrogen-fuel-future/>>. Acesso em: 02 out. 2020.

ALTFELD, K.; PINCHBECK, D. **Admissible hydrogen concentrations in natural gas systems** Gas Energy, 2013.

ANDRADE, R. B. de; ABIJAODI, C. E.; GUIMARÃES, M. M.; TRIVELLATO, F. A.; ROCHA, H. J. F.; MATTA, A. M. C.; RAMACCIOTTI, R. E. L.; SAGAZIO, G. C. **Especificações do gás natural: oportunidades e experiência internacional**. Conferência Nacional da Indústria (CNI), 2019, p. 47-49.



BADWAL, S. P.; GIDDEY, S.; MUNNINGS, C. **Hydrogen production via solid electrolytic routes**. WIREs Energy and Environment, vol. 2, ed. 5, 2012.

BALAT, M. **Potential importance of hydrogen as a future solution to environmental and transportation problems**. International Journal of Hydrogen Energy, vol. 33, ed. 15, 2008, p.4013-4029.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION (CSIRO). **National hydrogen roadmap**. 2018. Disponível em: <<http://ipswichgetup.grandkidzfuture.com/ewExternalFiles/Hydrogen%20CSIRO%202018.pdf>>. Acesso em: 4 out. 2020.

DAIYAN, R.; MACGILL, I.; AMAL, ROSE.; **Opportunities and Challenges for Renewable Power-to-X**. ACS Energy Lett, 2020.

DAWOOD, F.; ANDA, M.; SHAFIULLAH G. M.; **Hydrogen production for energy: an overview**. International Journal of Hydrogen energy, vol. 7, p. 3847-3869, 2020.

DE VRIES, H.; MOKHOV, A.V.; LEVINSKY, H. B. **The impact of natural gas/hydrogen mixtures on the performance of end-use equipment: Interchangeability analysis for domestic appliances**. Applied Energy, vol. 208, p. 1007-1019, 2017.

ELKINGTON, J. **Sustentabilidade: canibais com garfo e faca**. Edição histórica de 12 anos. São Paulo: M. Books, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Matriz energética e elétrica**. 2018. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 15 nov. 2020.

EPBR. **Gás natural e o preço para a reindustrialização brasileira**. 2020. Disponível em: <<https://epbr.com.br/gas-natural-e-o-preco-para-a-reindustrializacao-brasileira/>>. Acesso em: 17 nov. 2020.

GARCÉS-POLO, S. I.; VILLARROEL-ROCHA, J.; SAPAG K. **A comparative study of CO₂ diffusion from adsorption kinetic measurements on microporous materials at low pressures and temperatures**. Chemical Engineering Journal, vol. 302, p. 278-286, 2016.

GHAVAM, S.; VAHDATI. M.; STYRING P.; **Sustainable Ammonia Production Processes**. Frontiers Energy Research, vol. 9, 580808, 2021.

HU, G.; CHEN, C.; LU, H. T.; WU, Y; LIU, C.; TAO, L.; HE, G.; LI, K. G. **A review of technical advances, barriers, and solutions in the power to hydrogen (P2H) roadmap**. Engineering, vol. 6, p. 1364-1380, 2020.

HYDEPLOY. **Hydeploy at keele**. 2021. Disponível em: <<https://hydeploy.co.uk>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

ISAAC, T. **HyDeploy: The UK's first hydrogen blending deployment project**. Clean Energy, vol. 3, p. 114-125, 2019.



JOHANSSON, F.; KJARSTAD, J.; ROOTZÉN, J. **The threat to climate change mitigation posed by the abundance of fossil fuels.** *Climate Policy*, vol. 19, p. 1 – 18, 2018.

LAKHI, K. S.; CHA, W. S.; CHOY, J. H.; EJJI, M. A.; ABDULLAH, A. M.; ENIZI, A. M. A.; VINU, A. **Synthesis of mesoporous carbons with controlled morphology and pore diameters from SBA-15 prepared through the microwave-assisted process and their CO₂ adsorption capacity.** *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 233, p. 44 – 52, 2016.

LEAL, J. E.; **Avaliação da susceptibilidade à fragilização por hidrogênio in situ em microconstituintes por meio de nanoindentação instrumentada.** Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Uberlândia, 2021.

LORENZON, G.; PARANAÍBA, A.; MACHADO, M.; LEITE, C. B.; PEREIRA P. da S.; NAVARRO, C. A. de A. L.; LOPES, E. de L.; ENE, G. L.; RIBEIRO, T. E., GLASS, F.; BEZERRA, E. N.; SOUZA, A. F. de. **Relatório sobre especificações do gás natural.** Eixo Integração Gás e Indústria. 2020. Disponível em: < <https://www.gov.br/economia/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/relatorios/outros-relatorios/arquivos/2020/relatorio-sobre-especificacao-do-gas-natural.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2020.

MELAINA, M. W.; ANTONIA, O.; PENEV, M. **Blending hydrogen into natural gas pipeline networks: a review of key issues.** National Renewable Energy Laboratory, Technical report. Golden, 2013.

NASCIMENTO, R. S.; ALVES, G. M. **Fontes alternativas e renováveis de energia no Brasil: métodos e benefícios ambientais.** Educação e ciência para a cidadania global. Paraíba, 2016, Paraíba: UNIVAP. Disponível em:< http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2016/anais/arquivos/0859_1146_01.pdf>. Acesso em: 02 out. 2020.

OLIVEIRA, R.J.; OLIVEIRA, M.R.; DE CONTO, J.F.; BORGES, G.R.; DARIVA, C.; EGUES, S.M.; FRANCESCHI, E. **CO₂/CH₄ adsorption at high-pressure using silica-APTES aerogel as adsorbent and near infrared as a monitoring technique.** *Journal of CO₂ Utilization*, vol. 32, p. 232-240, 2019.

PAREEK, A.; DOM, R.; GUPTA J.; CHANDRAN J.; ADEPU, V.; BORSE H. P. **Insights into renewable hydrogen energy: advances and prospects.** *Materials Science for Energy Technologies*. vol. 3, p. 319-327, 2020.

PRF – Gás, Tecnologia e Construção, S.A. **Hidrogênio como combustível do futuro.** Leiria, PT. PRF News, 2020.

SEELAM, P. K.; RATHNAYAKE, B.; PITKAAHO, S.; TURPEINEN, E. KEISKI, R. L. **Overview on recente developments on hydrogen energy: production, catalysis, and sustainability.** *Membrane Systems for Hydrogen Production*, p. 3-32, 2020.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil.** 2019. Disponível em: <http://www.observatoriodoclima.eco.br/wp-content/uploads/2019/11/OC_SEEG_Relatorio_2019pdf.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2020.



SMITH, N.J.P.; Shepherd, T.J.; Styles, M.T.; Williams G.M. **Hydrogen exploration: a review of global hydrogen accumulations and implications for prospective areas in NW Europe.** In: Pet. Geol. North-West Eur. Glob. Perspect. - Proc. 6th Pet. Geol. Conf. 6. Geological Society, London, pp. 349–358, 2005.

WANG, Q.; LI, W.; ZHANG, D.; WANG, H.; JIAN, W.; ZHU, L.; TAO, J.; HUO, P.; ZHANG, J. **Influência da exposição de CO₂ de alta pressão na cinética de adsorção de metano e CO₂ em carvões,** Journal of Natural Gas Science and Engineering, v. 34, p. 811-822, 2016.

ZHANG, G.; ZHANG, J.; XIE, T. **A solution to renewable hydrogen economy for fuel cell buses – A case study for Zhangjiakou in North China.** International Journal of Hydrogen Energy. vol. 45, p. 14603-14613, 2020.



CAPÍTULO 28

A REDUÇÃO DO CUSTO DO TRANSPORTE COM APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DO LEAN MANUFACTURING.

Moisés Andrade Barros
Siomara Dias da Rocha

RESUMO

Este artigo tem o objetivo de demonstrar como o uso adequado da metodologia *Lean Manufacturing* e a análise correta da operação dentro de uma área de Logística em uma Empresa de produtos Químicos mostra reais oportunidades com redução no custo da Operação e evita gastos desnecessários neste caso com o envio de produto através de transporte Aéreo o qual em meses de alta temporada pode equivaler a 10 vezes o valor do transporte Rodo-Fluvial entre Manaus e o Estado de São Paulo, encarecendo assim o custo do produto além de mensalmente gerar um desgaste bastante significativo entre as áreas internas da Fábrica para que o Cliente Final seja devidamente atendido, sabendo que esse pedido do Cliente é emitido sempre nos cinco primeiros dias úteis de cada mês e no entanto só segue para a sua devida produção entre a terceira e quarta semana do mês, o que obriga o seu envio Aéreo para garantir a devida entrega ainda dentro do mês, conforme o pedido feito pelo cliente no início do mês. Dessa forma garante a satisfação do cliente e agrega o valor do pedido no faturamento do mês da Fábrica. Este artigo busca mostrar que existem oportunidades que podem possibilitar ajustes entre áreas como nesse artigo mostraremos na área de Planejamento da Fábrica ajustando o seu Plano de Produção para o início do mês, tão logo chegue a confirmação do Pedido gerado pelo Cliente e assim seja favorável o envio dessa carga pelo transporte mais barato que a modalidade Rodo-Fluvial, o qual atende princípios do Lean que visa entregar no prazo, na quantidade, no local e no valor certos, buscando atender por um custo mais barato em relação aos gastos com Transporte, sem gerar maiores impactos no Plano de Produção mensal da fábrica.

PALAVRAS-CHAVE: Transporte, Redução, Logística, Produção.

INTRODUÇÃO

A redução do custo de operação dentro de qualquer empresa é uma busca constante pois para se manter cada vez mais competitiva no mercado é necessário eliminar os desperdícios que acabam elevando o custo dessa operação assim como o consumo indevido de recursos dentro da organização. Desta forma o estudo da cadeia de produção de uma Empresa localizada no Polo Industrial de Manaus mostrou oportunidades de melhorias durante a sua cadeia produtiva e logística. O custo com o transporte de carga entre o Polo Industrial da cidade de Manaus-Am e o Estado de São Paulo tem um valor muito elevado, além de ter uma variação em certos períodos do ano e está vinculado ao modal utilizado o que acaba causando impacto na composição do custo do produto, margem lucrativa e competitividade de preço. Neste trabalho



afirmamos por meio de revisão integrativa, o impacto financeiro causado pela falta de uma análise adequada da cadeia de produção e logística eleva o custo com transporte.

O *Lean Manufacturing* que em português significa Produção Enxuta teve origem no Japão, na Toyota a partir da segunda metade do século XX, logo após ao fim da Segunda Guerra Mundial, e foi denominado Sistema Toyota de Produção (STP). Tinha como base os seus cinco princípios que eram: valor, cadeia de valor, fluxo, produção perfeita e perfeição (Liker, 2005; Womack & Jones, 2003).

Neste período os preços eram estabelecidos através de uma equação: Custo + Margem de Lucro = Preço, qualquer aumento era diretamente repassado ao consumidor onde nos dias de hoje a concorrência fez com que esse racional de cálculo seja diferente ao modelo inicial onde a margem de lucro é determinado pelo resultado entre o preço (fixado pelo mercado) e o custo de fabricação. Dessa forma a busca para melhorar os o lucro de cada empresa está focado na redução de custos através da eliminação de desperdícios onde o uso dos Princípios Lean são cada vez mais utilizados (DENNIS, 2008).

Qualquer desvio que venha acontecer em uma dessas etapas citadas acima pode comprometer o prazo de entrega, o qual uma vez rompido ocasiona em multa diária de atraso e com isso causar um impacto financeiro elevado tornando inviável o lucro com ele.

Fazer a análise das etapas e organizá-las de forma sequenciada com prazos que não causem impactos ao Plano de Produção mensal e nem ao prazo de transporte onde hoje devido ao curto tempo entre a data que o mesmo entra em processo de produção e a data limite de entrega no cliente acabam exigindo que o modal de embarque seja o aéreo que é o mais caro entre todos os demais, porém para garantir o atendimento previsto em contrato esse modal tem se tornado padrão mesmo com o seu custo tendo uma fatia bem agressiva na composição do custo do produto.

REFERENCIAL TEÓRICO

O SISTEMA LEAN DE PRODUÇÃO

A empresa Toyota Motor Company, em 1950, estava passando por difícil e em busca de solução de sua baixa produtividade enviou um de seus membros, o jovem Eiji Toyoda, Engenheiro, junto com seu amigo Taiichi Ohno, para a cidade de Detroit nos Estados Unidos a qual era naquele momento referência no processo de manufatura no mundo. No retorno para o Japão concluíram que o modelo de produção em massa não funcionaria em seu processo



produtivo, no entanto viram várias possibilidades de torná-la melhor que a vista em Detroit (DENNIS, 2008).

O perfil do mercado japonês adotava um modelo diferente ao sistema Fordista de produzir em massa o que gerou a necessidade de criar um modelo que fosse adequado a necessidade deles (LUSTOSA et al., 2008).

Santos et al. (2009), define Sistema Lean de produção como um processo que visa a eliminação de desperdícios e não somente no ambiente produtivo mais que pode ser aplicado a atividades administrativas e demais.

Silva et al. (2009) ao estudar a melhoria nos processos produtivos com a eliminação dos gargalos através da aplicação da Teoria das Restrições e uso dos cinco passos usados em indústria de colchões. O resultado encontrado após a identificação dos gargalos e tratativa para a sua eliminação, elevaram a performance e mostraram significado ganhos na produtividade da sua unidade fabril.

Publicado no livro “A máquina que mudou o mundo” o nome *Lean manufacturing* (ou produção enxuta) teve origem após um grupo de pesquisadores do *Massachusetts Institute of Technology*, mostrou que esse sistema tem o objetivo de melhorar a qualidade, um menor custo e tempo de processo através da eliminação de desperdícios o que provou que o modelo de produção usado pela Toyota na época tinha a melhor eficácia dos sistemas de produção existentes (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2017).

Existem diversas maneiras de se referir ao sistema Toyota de Produção, devido a amplitude do assunto, algumas literaturas adotam referencias distintas podendo ser: Sistema Toyota de Produção, Lean Manufacturing ou Sistema de Produção Enxuta, todas são sinônimas e se referenciam ao mesmo processo.

Hoffmann et. Al (2019), concluiu que a Manufatura Enxuta e Produção Mais Limpa vem crescendo dentro do cenário nacional, em sua publicação ele destaca que ainda existe a necessidade de se entender melhor a correlação de uso desses dois modelos em conjunto e esse questionamento fica aberto para pesquisas futuras.

Womack e Jones (1992), na busca de definir qual o melhor processo entre Produção em Massa e o Lean Production, visitaram duas fábricas em países diferentes. Primeiramente foi visitada a fábrica da GM de Framingham e Massachusetts e a segunda foi a da Toyota em Takaoka, em ambas observaram dois principais quesitos, Eficiência e Produtividade. No fim de



suas análises, perceberam que os números da fábrica japonesa eram melhores que aos números da fábrica americanos em vários aspectos.

Em Takaoka o trabalho era reduzido pela metade do tempo de produção, os defeitos representavam um terço e o número de mão de obra e capital investido eram menores devido ao formato de linha produtiva que favorecia todos esses pontos serem melhor no sistema Toyota que ao sistema GM. Outro ponto em destaque era seu baixo volume de estoque pois os seus fornecedores estavam a uma distância de 8 a 16 quilômetros o que facilitavam o rápido atendimento sem necessidade de manter grandes estoques na sua sede, diferente da GM que precisava levar insumos do outro lado do Pacífico a cerca de 8 mil quilômetros de distância (WOMACK; JONES, 1992).

A metodologia Lean identificou sete tipos de desperdícios, eles foram encontrados em diversos tipos de execução de trabalho e esses desperdícios devem ser eliminados de seus sistemas. Esses sete tipos de desperdícios são apresentados no quadro abaixo:

Tabela 1: Tipos de desperdícios Lean.

TIPO	DESCRIÇÃO
Transporte	É importante entender que todo transporte é um desperdício, visto que não agrega valor ao produto, porém, ele é um mal necessário e não pode ser evitado. Sendo assim, o objetivo do Lean é minimizar sua incidência.
Inventário	Esse desperdício está diretamente atrelado ao excesso de armazenamento de insumos, matérias-primas, produtos intermediários e produtos acabados.
Movimentação	Tanto equipamentos quanto colaboradores podem se encaixar aqui. E esse tempo gasto com movimentações desnecessárias pode ser utilizado para melhorar a produtividade e agregar valor ao produto ou serviço.
Produção Excessiva	Este desperdício corresponde ao processamento de itens além do solicitado, ou seja, ele diz respeito à falta do cumprimento de uma sequência lógica de funcionamento no processo. Além disso, essa falta de padronização inibe o gerenciamento e o controle eficaz de um processo, não agregando valor algum ao produto.
Espera	A espera representa a falta de operação de colaboradores, maquinário e outros itens relevantes ao processo.
Processamento excessivo	Este desperdício corresponde ao processamento de itens além do solicitado, ou seja, ele diz respeito à falta do cumprimento de uma sequência lógica de funcionamento no processo. Além disso, essa falta de padronização inibe o gerenciamento e o controle eficaz de um processo, não agregando valor algum ao produto.
Defeitos	Os defeitos na produção de um produto ou na execução de um serviço podem gerar retrabalhos ou simplesmente serem sucateados. O que faz com investimento envolvido nesse problema seja desperdiçado.

Fonte: Adaptado (aloe – gestão lean, 2021).



METODOLOGIA

Na realização deste artigo foram utilizados a pesquisa bibliográfica e a pesquisa de campo. Gil (2007, p. 44) explica que os exemplos mais característicos desse tipo de pesquisa são: investigações sobre ideologias ou pesquisas que se propõem à análise das diversas posições sobre um problema. Segundo Lakatos e Marconi (2003), para realizar uma pesquisa de campo se faz necessário a realização de uma pesquisa bibliográfica em outras pesquisas existentes a respeito do assunto o qual servirão de base de referência para a pesquisa a ser realizada.

O início da pesquisa de campo teve início logo após a conclusão da pesquisa bibliográfica, a empresa estudada é líder no segmento de produtos químicos e soluções em geral a 120 anos no mercado sendo 75 anos no Brasil e 14 anos no Polo Industrial de Manaus. Trazendo soluções inovadoras nos seus diversos seguimentos de adesivos, abrasivos, saúde e segurança, produtos de proteção química e higiene doméstica e Industrial.

Este estudo se limita em mostrar o alinhamento adequado nos departamentos da cadeia de produção, nesse artigo mais voltado para a área de Planejamento e de Transporte, influenciam na correta escolha do modal para transporte da carga visando manter o ganho do custo de Transporte calculado no projeto inicial o qual mostrou vantagem em produzir fora da região Sudeste mantendo o valor do Produto competitivo e saudável para o bom andamento do negócio da empresa.

Após definidos os objetivos específicos os quais ajudaram a entender as etapas do processo que antecedem assim como os processos posteriores aos envios da carga, foram percebidas oportunidades de ajustes que resultariam aos ganhos operacionais, de tempo, e financeiro de forma a manter a devida satisfação do cliente quanto aos pontos alinhados nas tramitações de contrato e assim manter a variável de gasto com transporte definido na composição do custo do produto que havia sido definido de ser até 08% do seu valor de mercado.

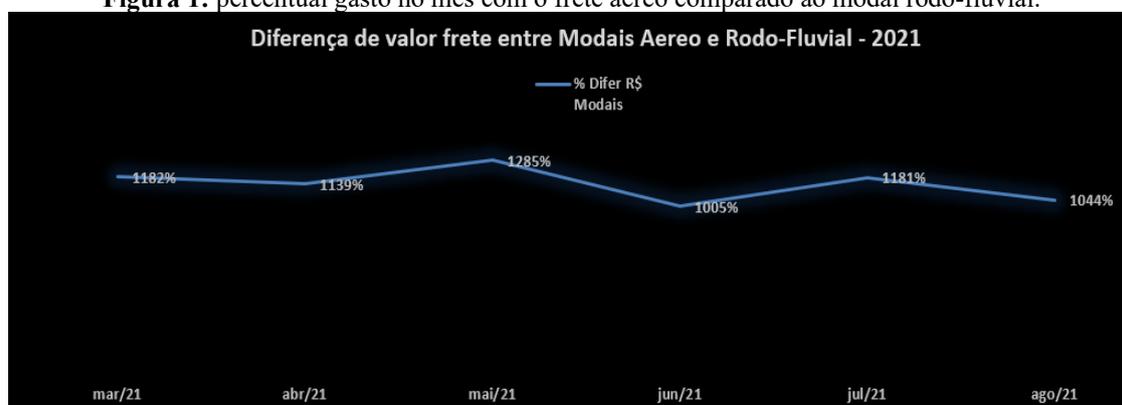
A proposta contida tem base na formulação das referências teóricas e operacionais para o desenvolvimento da empresa tratada neste estudo de caso, o mapeamento dentro do período de 6 meses foi a chave para mostrar todas as oportunidades e início dos testes de possíveis melhorias.

A análise foi feita através dos valores mensais na planilha de custo do Setor de Logística da referida empresa onde o valor gasto com modal aéreo estava em destaque e despertou a busca de uma tratativa com o ensejo de redução nessa linha de custo.



A Figura 1 mostra o quanto em percentual foi gasto em transportar a carga pelo modal aéreo em comparação a mesma proporção de carga transportada pelo modal Rodo-Fluvial da cidade de Manaus para a cidade de São Paulo, aqui mostrou que em certos meses do ano a diferença custava 12 vezes o valor entre modais.

Figura 1: percentual gasto no mês com o frete aéreo comparado ao modal rodo-fluvial.



Fonte: Autoria própria, 2021.

A pesquisa de campo foi feita nos setores que envolvem toda a cadeia de Produção, neles foram observados prazos com cliente, tempo de produção e tempo de Transporte onde após análise dessas informações se observou que ambos as áreas não estavam devidamente alinhadas quanto aos prazos e capacidade de cada um.

DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA E RESULTADOS

A necessidade de melhorar a margem de lucro no produto em estudo levou a necessidade de se buscar alternativas para alcançar tal objetivo. No primeiro momento foi aberta a planilha de composição do valor do produto na busca de encontrar oportunidades a serem trabalhadas.

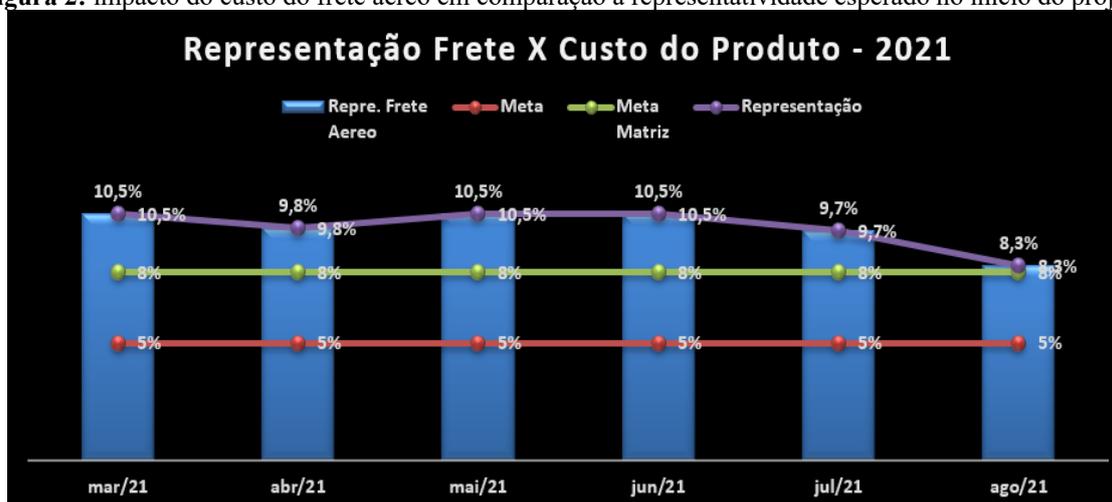
Cada área departamental da companhia analisou as oportunidades existentes na composição do preço com base em sua competência. Na análise de valores feita pela equipe de logística foi detectado que o custo com o frete deste produto não estava dentro da sua margem de valor, todos os meses esse custo ficava fora do seu parâmetro, bem superior ao que inicialmente estava definido para ser gasto com transporte de venda dele.

Em primeira análise foi detectado que o modelo de transporte utilizado, estava afetando a composição do custo do produto, foi possível detectar que o percentual atual estava bem acima do racional de custo definido para uso com transporte, esse percentual atual representava de >8% a 10%, ou seja, diferente dos 5% a <8% que haviam sido definidos, a análise dentro do período de seis meses mostrou que a margem de lucro do produto estava gravemente afetada dentro do custo com o modelo de transporte que estava sendo utilizado.



A Figura 2 abaixo, mostra que dentro dos meses de Março a Agosto de 2021 o percentual que os gastos com transporte (linha azul) mostraram estavam muito acima do percentual base que tanto a Meta Matriz (linha vermelha) e a Meta Real (linha verde) que estava definido em 5% a 8% da composição do custo desse produto.

Figura 2: impacto do custo do frete aéreo em comparação a representatividade esperado no início do projeto.



Fonte: Autoria própria, 2021.

A definição estratégica da empresa estudada, que levou a montagem das Placas Reflectivas no Polo Industrial de Manaus (PIM) e não em sua unidade na Região de São Paulo, levou em consideração o custo de produção, transporte e distribuição para a região Sudeste, contudo o que teve peso no fechamento da decisão foi a atração causada pelos Incentivos Fiscais cedidos às empresas que decidem operar dentro do Polo Industrial.

Alternativas de buscar baratear o custo de produção desse item e manter sua produção na região Sudeste foram buscados como um outro fornecedor de Matéria Prima alternativa com valor mais barato, porém isso afetaria a qualidade do produto e essa possibilidade foi descartada pois para chegar a uma margem mais próxima seria necessário ter um alto volume de estoque o que acarretaria aumento no custo com armazenagem.

A decisão de estratégia veio quando se percebeu que tais produtos uma vez beneficiados no Polo Industrial de Manaus trariam o aumento dentro das expectativas na margem de lucro com a implantação de um processo de manufatura na cidade de Manaus, onde os incentivos fiscais através de descontos na carga tributária em impostos que se tem ao produzir neste Polo de Indústrias e isso faz a Zona Franca de Manaus ser tão atrativa para as Empresas que se instalam no meio da floresta amazônica mesmo levando em consideração na análise de valores o custo a ser gasto com a Logística de entrada e saídas em locais onde tem poucas opções de



modais de transporte existem como, por exemplo, o Rodo Fluvial e o Aéreo e o de Cabotagem o qual está em expansão atualmente.

Com base neste cenário foi criado um plano de ação (5W2H) para acompanhar, conforme apresentado pela Figura 3.

Figura 3: Plano de Ação em modelo 5W2H.

What? (O que?)	Why? (Por que?)	Where? (Onde?)	When? (Quando?)	Who? (Quem?)	How? (Como?)	How? (Quanto?)
1 Ajustar o Plano de Produção do Produto.	O Plano atual está contemplando a produção para a segunda quinzena do mês.	Sistema de Gestão de Produção.	01/09/2021	Coordenador de Planejamento	Colocar em processamento a produção entre o dia 01 e o dia 08 de cada mês.	R\$ -
2 Parametrização no sistema	No sistema atual, tais produtos estão	Sistema de Gestão	01/09/2021	Coordenador de	Ajustar a base de cadastro dos itens	R\$ -
3 Testar embalagem adequada para uso em novo modal de transporte	Devido maior movimentação de carga e tempo de transporte pelo modal Rodo-Fluvial, precisa validar a resistência das embalagens atuais.	Fabrica Manaus	10/08/2021	Coordenador de Engenharia	Solicitar estudo do Fornecedor de Embalagem.	R\$ -
4 Alinhar prazos de entrega com cliente	Pelo modelo atual de atendimento, as entregas estavam firmadas entre os últimos 5 dias de cada mês.	Cliente em São Paulo	05/08/2021	Gerente Comercial	Fazer visita ao cliente e alinhar tal processo de recebimento de carga.	R\$ -
5 Definir Transportadora modal Rodo-Fluvial	Definir qual a Transportadora será usada inicialmente nesse novo modelo.	Fabrica Manaus	03/08/2021	Coordenador de Logística	Mapear a Transportadora com melhor performance nos últimos 6 meses.	R\$ -
6 Envio de Embarque Teste	Para testar as condições físicas em que a carga chegará ao destino, assim como Qualidade do produto, e possíveis ajustes a serem realizados.	Fabrica Manaus	18/08/2021	Coordenador de Logística	Será enviado uma carga teste junto ao Embarque de outros produtos em carreta fechada para Centro de Distribuição da Transportadora em São Paulo.	R\$ 645,76
7 Fazer o Redespacho da carga do Centro de Distribuição para o Cliente.	Para testar o tempo de ciclo total do novo processo em condições normais.	Centro de Distribuição em São Paulo.	Assim que a carga chegar no CD.	Operação da Transportadora.	Colocar a carga teste em veículo menor para entregar no cliente final.	R\$ 150,00

Fonte: Autoria própria, 2021.

Após a definição das ações dentro dos cenários mapeados de oportunidades e estudo junto às áreas de Planejamento e Transporte com o envolvimento também das áreas de Produção, Qualidade e Engenharia foram colocadas em prática as ações a partir do mês de Agosto/21 visando que no mês seguinte o embarque da carga fosse realizada no modal Rodo-Fluvial o qual foi visto ser o mais saudável para garantir a rentabilidade que a empresa esperava quando definiu levar o processo produtivo para o Polo Industrial de Manaus (PIM).

Em conjunto foi definido que seria feito um Embarque Teste pelo novo modelo de modal, com isso definimos o embarque de uma quantidade pequena de produto que teve como foco principal a avaliação final das condições físicas e da qualidade do produto após ficar em transporte por um período muito maior, saindo de um prazo médio de 72h para um total de 13 a 17 dias de Transporte. Todo o processo da Produção/Embarque teste foi acompanhada muito de perto pelas áreas envolvidas e em especial também houve o envolvimento da Transportadora escolhida, isso de forma a mitigar falhas assim como tratar de forma assertiva os ajustes necessários caso houvesse.

Esta carga chegou em seu destino em 14 dias após sua saída da área de Expedição da empresa, onde se observaram as seguintes conclusões:

a) **Embalagem** – o teste de Resistência mostrou que a embalagem usada não apresentou avaria ou dano ao produto e atendeu bem ao teste;



b) **Qualidade do produto** – em análise no cliente final, foi percebido que o produto não sofreu nenhuma perda de qualidade no processo de transporte;

c) **Prazo de Entrega** – com base no cronograma da Figura 4, foi observado que envolve o Plano de Produção – Embarque de Manaus pelo novo modelo e Recebimento no Cliente Final demonstrou que uma vez cumprido os prazos internos da empresa e em vias normais de Transporte a entrega no cliente final é possível de cumprimento com segurança.

Figura 4: cronograma de acompanhamento para o embarque teste.

Carga Teste - Ago-21 da Carga via Modal Rodo-Fluvial																		
Dias Corridos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Data Mês	16/ago	17/ago	18/ago	19/ago	20/ago	21/ago	22/ago	23/ago	24/ago	25/ago	26/ago	27/ago	28/ago	29/ago	30/ago	31/ago	01/set	02/set
Produção																		
Montagem Carga																		
Em Transporte			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
Descarga no CD - SP																		
Entrega ao Cliente Final																		

Fonte: Autoria própria, 2021.

Após toda a avaliação do embarque teste onde os resultados mostrados deram segurança para que fosse realizado o processo completo da carga pelo modal rodo-fluvial, em setembro-2021 foi realizado o transporte da carga completa com os produtos, seguindo a linha de Lead Time usado no cronograma da Figura 5, percebeu-se que o ciclo total entre a entrada em processo produtivo e a sua chegada que o início desse ciclo no cliente final levaria em média 18 dias, com isso, ficou evidente não poderia ser superior ao dia 08 de cada mês confirmando o mapeamento feito o qual gerou ação no 5W2H criado inicialmente.

Figura 5: Cronograma do ciclo de produção até entrega no cliente final.

Setembro - 1º Embarque com 100% da Carga via Modal Rodo-Fluvial																		
Dias Corridos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Data Mês	01/set	02/set	03/set	04/set	05/set	06/set	07/set	08/set	09/set	10/set	11/set	12/set	13/set	14/set	15/set	16/set	17/set	18/set
Produção																		
Montagem Carga																		
Em Transporte		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
Descarga no CD - SP																		
Entrega ao Cliente Final																		

Outubro - 2º Embarque com 100% da Carga via Modal Rodo-Fluvial																		
Dias Corridos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Data Mês	04/out	05/out	06/out	07/out	08/out	09/out	10/out	11/out	12/out	13/out	14/out	15/out	16/out	17/out	18/out	19/out	20/out	21/out
Produção																		
Montagem Carga																		
Em Transporte			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
Descarga no CD - SP																		
Entrega ao Cliente Final																		

Novembro - 3º Embarque com 100% da Carga via Modal Rodo-Fluvial																		
Dias Corridos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Data Mês	05/nov	06/nov	07/nov	08/nov	09/nov	10/nov	11/nov	12/nov	13/nov	14/nov	15/nov	16/nov	17/nov	18/nov	19/nov	20/nov	21/nov	22/nov
Produção																		
Montagem Carga																		
Em Transporte				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Descarga no CD - SP																		
Entrega ao Cliente Final																		

Dezembro - 3º Embarque com 100% da Carga via Modal Rodo-Fluvial																		
Dias Corridos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Data Mês	06/dez	07/dez	08/dez	09/dez	10/dez	11/dez	12/dez	13/dez	14/dez	15/dez	16/dez	17/dez	18/dez	19/dez	20/dez	21/dez	22/dez	23/dez
Produção																		
Montagem Carga																		
Em Transporte		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
Descarga no CD - SP																		
Entrega ao Cliente Final																		

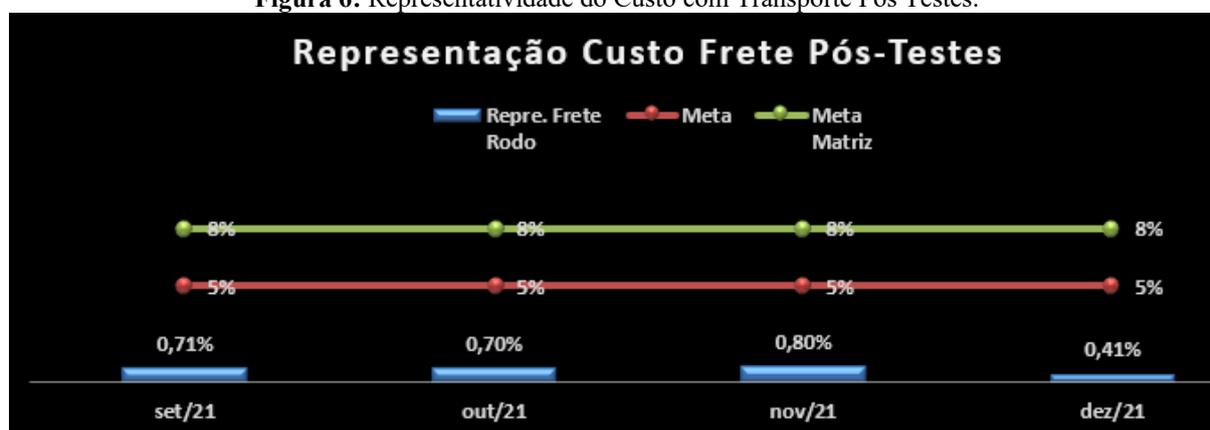
Fonte: Autoria própria, 2021.



O resultado final dos cinco embarques usando o novo modal realizados nos meses de Agosto até Dezembro - 2021, apresentaram resultados muito favoráveis em mantê-lo como padrão uma vez que o resultado físico, qualitativo e financeiro trouxeram números afirmativos dentro do que se esperava.

Quanto aos resultados financeiros, esses foram os que mais mostraram ganho os quais foram melhores do que esperado pois o ganho veio com a composição/montagem da carga em carreta fechada, ou seja, os custos do transporte quando rateado entre toda a carga mostrou que a representação do custo com transporte ficou menores que o estipulado no início do projeto que levou a montagem do produto para ser produzido em Manaus que era de 5% a 8% e os registros dos cinco embarques mostraram. A Figura 6 apresenta o custo com Transporte Pós Testes.

Figura 6: Representatividade do Custo com Transporte Pós Testes.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Ao final dos cinco meses de acompanhamento da implantação das ações de ajuste de processo (agosto de 2021 a dezembro de 2021), foi observado que a redução chegou a ser de - 90,3% ao valor gasto com transporte, isso comprovou que a equação do modelo anterior que envolvia Planejamento de Produção + Modal de Transporte utilizado = Perda Financeira.

O ganho financeiro representado aqui servirá para manter a empresa na concorrência com a possibilidade de melhor margem de lucro frente ao cliente de forma que a empresa tenha poder de negociação assim como implementações de melhoria em seu processo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo buscou mostrar através de uma abordagem real como a implementação dos princípios Lean Manufacturing aplicado em uma indústria de produtos químicos localizada no Polo Industrial e Manaus traz benefícios assim como desafios em buscar os meios adequados de eliminar um ou mais dos seus setes desperdícios e provou que a implantação da metodologia



trouxe resultados positivos para toda a operação e em especial o resultado financeiro o qual foi foco desse estudo.

Ao final dos cinco meses de acompanhamento da implantação das ações de ajuste de processo (agosto a dezembro de 2021), foi observado que a redução chegou a ser de -90,3% ao valor gasto com transporte, isso comprovou que a equação do modelo anterior que envolvia Planejamento de Produção + Modal de Transporte utilizado = Perda Financeira.

O ganho financeiro representado aqui servirá para manter a empresa na concorrência com a possibilidade de melhor margem de lucro frente ao cliente de forma que a empresa tenha poder de negociação assim como implementações de melhoria em seu processo.

A análise mostrou oportunidades em outras áreas que não foram foco neste artigo como a redução dos volumes de estoque dos insumos utilizados na confecção do produto analisado assim como abriu oportunidades para estender esse mesmo trabalho a outros grupos de produtos fabricados na unidade de Manaus. Outros processos pertencentes ao Lean Manufacturing como a utilização Kanban para a gestão de estoques e isso ficou evidente ao analisar a base de estoque nos meses de Fevereiro e Março de 2021 onde o estoque desses itens estavam muito elevados além de mostrar a falta de insumos complementares que em certos períodos comprometiam o atendimento do Plano de Produção.

O trabalho realizado cumpriu seu objetivo proposto e deixou um legado cultural dentro da empresa com a implantação de uma equipe *Lean Manufacturing* a qual vai estender sua atuação com as demais áreas da empresa. Chegou-se à conclusão de que o mapeamento correto de todo o processo auxilia na busca de identificar possíveis oportunidades

REFERÊNCIAS

BERTAGLIA, P. R. Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento. São Paulo: Saraiva, 2003.

COLLATTO, D. C. Interações, convergências e inter-relações entre Contabilidade Enxuta e Gestão Estratégica de Custos: um estudo no contexto da Produção Enxuta. **Gestão & Produção Online**. 2016, v. 23, n. 04, pp. 815-827 Epub 12 Dez 2016. ISSN 1806-9649. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-530X1279-15>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2022.

DANTE, A. C. M.; SILVA, V. C.; PIACENTE, F. J. Os benefícios e desafios na aplicação dos princípios do lean production em uma indústria de equipamentos hidráulicos: um estudo de caso. *Revista Produção Online*, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 321–345, 2019. DOI: 10.14488/1676-1901.v19i1.3362. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/3362>. Acesso em: 04 de março de 2022.



DENNIS, P. Produção lean simplificada. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

HOFFMANN, N.; REIS, L. V.; KIPPER, L. M. Cientometria dos sistemas de produção lean manufacturing e cleaner production: um olhar nos periódicos da ABEPRO. **Revista Produção Online**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 329–349, 2018. DOI: 10.14488/1676-1901.v18i1.2796. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/2796>. Acesso em: 21 de fevereiro 2022.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Fundamentos de metodologia científica. 5. ed. São Paulo: Atlas 2003.

LEAN INSTITUTE BRASIL. Sistema Toyota de Produção (Toyota Production System - TPS). 2017. Disponível em: <https://www.lean.org.br/conceitos/117/sistema-toyota-de-producao> Acesso em: 25 fevereiro de 2022.

LUSTOSA, L et al. Planejamento e controle da produção. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MONDEN, Y. Sistema Toyota de Produção: uma abordagem integrada ao just-in-time. Porto Alegre: Bookman, 2015.

RAMPASSO, I. S.; ANHOLON, R. Parâmetros para avaliação de células de manufatura que utilizam a filosofia lean: uma revisão da literatura. **Revista Produção Online**, [S. l.], v. 17, n. 4, p. 1329–1355, 2017. DOI: 10.14488/1676-1901.v17i4.2637. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/2637>. Acesso em: 10 de março de 2022.

SILVA, A. L. E.; SILVA, V. C. da; KIPPER, L. M.; CARVALHO, F. S. de; MORAES, J. A. R. Aumento do desempenho fabril sob a luz da teoria das restrições: o caso de uma fábrica de colchões. **Revista Produção Online**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 3–25, 2017. DOI: 10.14488/1676-1901.v17i1.2321. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/2321>. Acesso em: 02 de março de 2022.

SLAVOV, T. N. B.; & FARIA, A. C. 2011. **A contabilidade Enxuta Lean Accounting na indústria automobilística brasileira: o caso FIAT**. In Anais do Encontro da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Administração, pp. 1-17. Rio de Janeiro: ANPAD. Recuperado em 05 de dezembro de 2013, Disponível em: <http://www.anpad.org.br/admin/pdf/CON757.pdf>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2022.



CAPÍTULO 29

ASPERSÃO TÉRMICA: UMA REVISÃO SOBRE AS TÉCNICAS DE DEPOSIÇÃO DE RECOBRIMENTOS

Paulo Cesar Ultramari Junior
Felipe de Souza Miranda
Cristian Cley Paterniani Rita
Eduardo Sant'Ana Petraconi Prado
Gilberto Petraconi Filho
Argemiro Soares da Silva Sobrinho

RESUMO

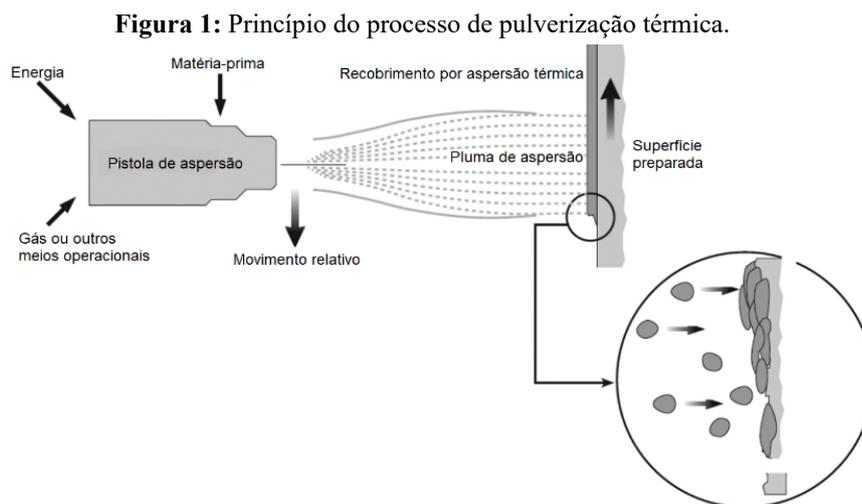
Recobrimentos são aplicados em substratos (metálicos, cerâmicos, poliméricos ou compósitos) para incorporar à sua superfície uma ou mais características ou qualidades que originalmente não possuem, como aumentar a vida útil de um material/equipamento, elevando a sua resistência a erosão, desgaste, oxidação, proteção térmica ou até mesmo propiciando ganho em eficiência, dependendo de sua aplicação. Neste contexto este trabalho apresenta uma revisão sobre os métodos de aspersão térmica utilizados para a deposição de recobrimentos visando a proteção de um substrato. Também foi abordado os mecanismos de formação e adesão do recobrimento, suas características em relação a porosidade, dureza, microestrutura e defeitos. Cada método de aspersão térmica foi detalhado de acordo com as suas características operacionais, que englobam o método de processamento, fonte de energia e tipo de precursores utilizados. Tendo como foco principal o processo de aspersão térmica a plasma, elucidando desde o conceito de plasma térmico e a utilização de tochas de plasma para geração do plasma e posterior processamento e deposição de recobrimentos.

PALAVRAS-CHAVE: Aspersão térmica, recobrimentos, plasma térmico, processamento de materiais.

PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA

Define-se a técnica de aspersão térmica (AT) como sendo uma classe de processos de recobrimento de superfícies em que óxidos, compósitos, carbonetos, materiais metálicos, entre outros, são depositados em circunstância semifundida ou fundida sobre uma superfície tratada, ocasionando em um depósito aspergido. Geralmente, os substratos são compostos de material metálico, no entanto, há possibilidade de se depositar sobre substratos plásticos, cerâmicos e compósitos. Considerado um processo de natureza sinérgica, a aspersão depende de diversos componentes e variáveis envolvidas que ao atuarem de maneira concordante são capazes de produzir um melhor efeito que se considerados de forma individual (MENDES; SOUZA; BRITO; ALVES JR, 2010).

Na Figura 1 é ilustrada o princípio da técnica de aspersão térmica.



Fonte: Ahmad *et al.*, 2016.

Além disso, a aspersão térmica retrata um conjunto de processos que usam a energia térmica gerada por métodos elétricos (arco ou plasma) ou químicos (combustão) para fundir e acelerar dispersões finas de gotículas ou partículas a velocidades na faixa de 50 até 1000 m/s. As velocidades e temperaturas elevadas tem como resultado a deformação das gotículas na superfície durante o impacto, acarretando em lamelas ou camadas finas, denominadas “splats”, que se acomodam e aderem à superfície do substrato (CRAWMER, 2004).

PROCESSO DE RECOBRIMENTO

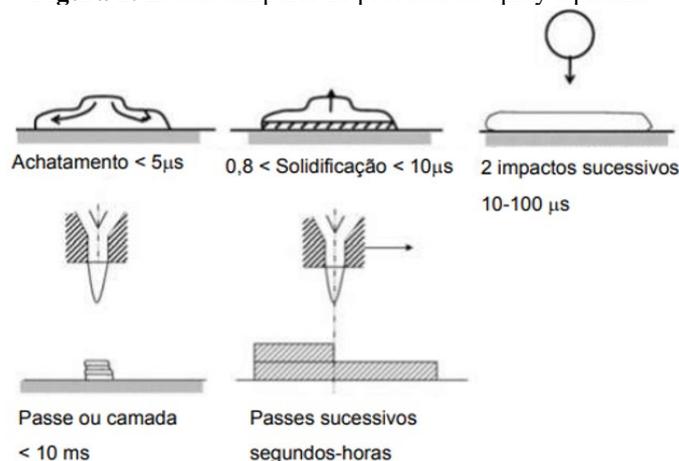
Os recobrimentos realizados por aspersão térmica são constituídos através do empilhamento de lamelas provindas do espalhamento e solidificação de partículas fundidas que atingem superfície do substrato ou lamelas já depositadas com velocidade variando de cem a várias centenas metros por segundo. Após impactar, o material fundido ou semifundido espalha-se radialmente em elevada velocidade em um tempo na faixa de microssegundos (VARDELLE *et al.*, 2015). Normalmente ocorre a formação de uma macroestrutura lamelar permeada de porosidade, inclusões de óxidos, microtrincas e partículas sólidas, quando o material incide na superfície do substrato e resfria rapidamente há tendência de se ancorar mecanicamente na rugosidade superficial. No caso da presença de partículas não fundidas na deposição, esse fenômeno ocorre por conta do material de deposição se solidificar antes de atingir o substrato (ROCHA, 2017).

É apresentado na Figura 2 o instante em que as partículas impactam no substrato e a escala do tempo em cada etapa até o recobrimento se formado. A partícula tem a tendência de deformar e solidificar no momento após o impacto e serem organizados no formato de lamelas, ocorrendo pouco antes do impacto das próximas partículas e com a execução de passes sucessivos ocasiona-se o recobrimento. A formação da lamela é dependente de parâmetros da



partícula em voo, velocidade e temperatura de partícula. A temperatura de partícula influencia a viscosidade, tensão superficial e massa específica. Por sua vez, a velocidade da partícula tem influência sobre o número de Mach, no número de Peclet, no número de Weber e no número de Reynolds (CALIARI, 2016).

Figura 2: Escala temporal do processo de spray a plasma.



Fonte: Caliar, 2016.

MECANISMOS DE ADESÃO

Geralmente, considera-se três mecanismos de adesão do material ao substrato, sendo esses: física, química e mecânica (CHANDRA; FAUCHAIS, 2009). A adesão do tipo física acontece devido à alta temperatura fornecida ao substrato, o que acarreta na difusão de elementos sobre a interface e sem a presença de uma camada de óxido na superfície. Na adesão química, forma-se fases distintas das encontradas primariamente no recobrimento e substrato, possuindo elementos químicos de ambos os materiais. Já a adesão por ancoramento mecânico acontece por conta da rugosidade presente no substrato. Nesse tipo de adesão, os splats superficiais aderem no substrato por conta da força de atrito desenvolvida devido ao encolhimento durante o resfriamento. Com isso, as lamelas depositadas preenchem a rugosidade superficial, ocorrendo um intertravamento mecânico ocasionado pelo resfriamento (CHANDRA; FAUCHAIS, 2009; CALIARI, 2016).

A presença de contaminantes adsorvidos no substrato pode também afetar a resistência de união. Portanto, a adesão e coesão do recobrimento e outras propriedades termomecânicas estão intimamente relacionadas com a qualidade do contato entre os splats e o substrato ou lamelas de revestimento anteriormente depositadas (CHANDRA; FAUCHAIS, 2009).



DINÂMICA DA FORMAÇÃO DO SPLAT

O processo de impacto envolvendo as partículas vai depender de diversos parâmetros, como o grau de oxidação, propriedades do material, velocidade, temperatura e diâmetro. Além disso, também dependerá de propriedades termofísicas em que o substrato se encontra (CHANDRA; FAUCHAIS, 2009). A fragmentação de partículas no momento do impacto pode ocorrer por conta da fragmentação que ocorre após o impacto, que é ocasionado devido a instabilidades de fluidos antes que a solidificação aconteça (CHANDRA; FAUCHAIS, 2009).

A temperatura do substrato também é um fator importante na forma final de lamelas resultantes e no espalhamento de partículas fundidas. Ao impactar sobre um substrato quente (acima de 300-400°C), as gotas geralmente formam um disco uniforme. Assim, assume-se que a energia cinética inicial da partícula que colide é convertida em energia térmica por conta da energia superficial da partícula fundida (VARDELLE *et al.*, 2015).

No momento em que acontece o impacto em um substrato à temperatura ambiente, o fluxo de líquido paralelo ao substrato evolui de forma diferente daquela observada no mesmo substrato em temperatura elevada. Considerando o substrato frio, é possível notar que frequentemente o líquido está em contato com o substrato apenas em uma região ligeiramente maior que o tamanho inicial da partícula no impacto. Além dessa área central, o líquido não está mais em contato com a superfície do substrato e continua a se espalhar por uma distância maior, formando um disco que é pelo menos duas vezes maior do que o observado em um substrato quente. Estes fatores ocorrem devido a redução do gradiente de velocidade através da espessura do splat, devido ao líquido não tocar na superfície do substrato e deslizar sobre ele. Assim, muito menos energia é dissipada devido à viscosidade finita da partícula fundida ocasionando em um splat de maior diâmetro. Além disso, devido ao baixo contato físico entre o líquido que flui e o substrato, a transferência de calor para o substrato é fortemente reduzida quando comparado com situações do estado do substrato ser quente, resultando em taxas de resfriamento mais baixas do splat fora da região central onde o líquido está em contato mecânico e térmico com o substrato (VARDELLE *et al.*, 2015).

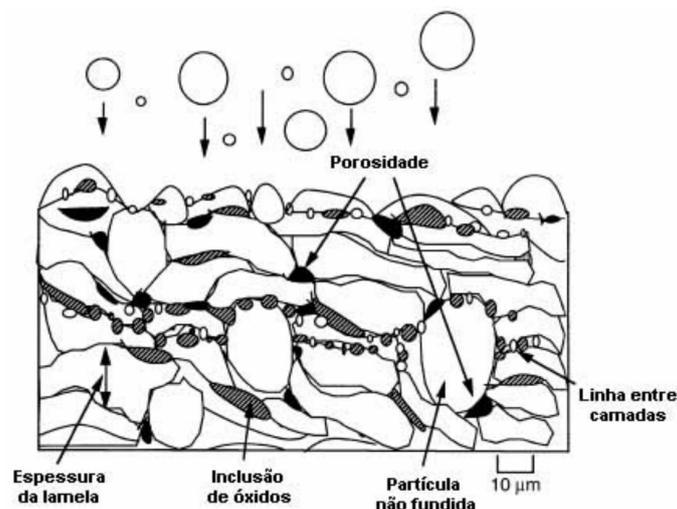
PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DOS RECOBRIMENTOS DEPOSITADOS POR ASPERSÃO TÉRMICA

As camadas depositadas caracterizam-se pela estrutura lamelar com a presença de óxidos e um grau variável de espaços vazios e porosidades (CORTÉS, 1998). As principais



características dos recobrimentos depositados por aspersão térmica, são esquematicamente apresentadas na Figura 3.

Figura 3: Esquemas das características estruturais do revestimento depositado por aspersão térmica.



Fonte: Cortés, 1998.

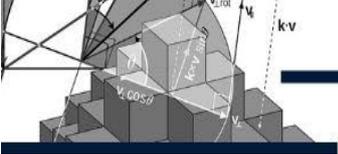
POROSIDADE

Trata-se de porosidade a presença de poros interconectados e cavidades isoladas. Por meio da aspersão térmica pode-se obter recobrimentos de porosidade variável, característica inerente neste tipo de processo. Ela tem a tendência de diminuir a coesão das camadas e sua aderência ao substrato, além disso, afeta diretamente propriedades físicas como condutividade elétrica e térmica. No caso de recobrimentos que tem como objetivo a proteção contra a corrosão, a porosidade contínua e interconectada ao substrato é indesejável. A formação de recobrimentos que tem incluso a porosidade está relacionada com os parâmetros de cada processo de aspersão, como: velocidade das partículas, qualidade do substrato a ser revestido, distância pistola/substrato, temperatura da chama ou arco elétrico e gás de transporte (CORTÉS, 1998).

No momento da formação da camada aspergida termicamente, é comum o surgimento de poros que podem ser grosseiros e finos. Os grosseiros, que estão presentes devido à baixa energia cinética adquirida pelas partículas que causam o não espalhamento de material e ao preenchimento não completo de camada nos interstícios. Para a porosidade fina, seu surgimento ocorre quando a partícula não cobre totalmente o material já depositado (ROCHA, 2017).

CAMADAS DE ÓXIDOS

A presença de óxidos relaciona-se com a atmosfera pela qual são transferidas e depositadas as partículas fundidas ou superaquecidas no bico das pistolas de cada processo de



aspersão térmica. As principais fontes de oxidação são envolvem o gás de transporte, o ar ambiente que envolve a zona de transferência das partículas e as partículas já presentes no substrato e que ficam expostas ao ar ambiente (CORTÉS, 1998).

Em certas situações, a presença de óxidos prejudica o recobrimento de maneira extrema, ocorrendo pelo fato de preencherem espaços que deveriam ser ocupados por material fundido. Com isso, interrompem a homogeneidade da camada e a uniformidade química. Em lamelas internas do revestimento, o elevado grau de oxidação tende a acarretar em um nível elevado de tensões residuais em função das diferenças de expansão térmica das fases distintas. Essas tensões geram trincas que alteram as propriedades mecânicas da camada. Por outro lado, em certos casos, a formação de camadas oxidadas diminuem a taxa de desgaste da superfície e aumentam a dureza. (ROCHA, 2017). Nos casos em são fornecidos elevada velocidade de partícula e inferior temperatura de chama/plasma, apenas superaquecendo a partícula, ocasionam em menores quantidades de óxidos na camada revestida, como é o caso do processo HVOF, ao contrário de processos em que ocorre a fusão do material (pó ou arame) antes da aspersão. Com isso, é de fundamental importância ajustar as variáveis do processo para controlar a oxidação e a microestrutura do recobrimento (ROCHA, 2017).

MICROESTRUTURA

Compreender as propriedades dos revestimentos depende da correta interpretação de como sua microestrutura é formada. A microestrutura dos revestimentos pulverizados e suas propriedades dependem dos fenômenos que ocorrem com as partículas, desde sua ejeção da pistola até atingirem o substrato (BOARÃO; SILVA, 2020).

Os detalhes de uma microestrutura típica em revestimentos aspergidos contra o substrato se baseiam em partículas semifundidas que aderem às imperfeições da superfície resultando em uma estrutura lamelar. Com isso, nota-se poros, partículas não fundidas e óxidos, podendo ser controlados com a variação de parâmetros no processo.

MICROTRINCAS

Em revestimentos realizados por aspersão térmica pode-se encontrar microtrincas, no entanto, apenas em materiais cerâmicos são aceitáveis, pois este tipo de material apresenta uma fina rede de trincas perpendiculares ao plano das lamelas. Por outro lado, alguns autores apontam efeitos benéficos da presença de microtrincas em determinado grau de porosidade devido a inibirem o crescimento de trincas maiores no recobrimento. Em recobrimentos cerâmicos as microtrincas aderem a deformação do mesmo sob tensões térmicas, elevando a



resistência à fadiga e tolerância de deformação (LIMA; TREVISAN, 2007). Não se encontra trincas em materiais metálicos devido a deformação térmica, logo, acomodação em escoamento plástico (MENDES, 2010).

MICRODUREZA

Reconhece-se que as propriedades de revestimento dos materiais pulverizados sejam mais resistentes ao desgaste do que as ligas fabricadas ou moldadas fabricadas a partir de um mesmo material. Isso se deve à presença de óxidos finos e do endurecimento através do resfriamento rápido das partículas pulverizadas em conjunto com o impacto no substrato. O resfriamento rápido colabora no endurecimento formando grãos finos e fases metaestáveis nas partículas. Por conta da natureza anisotrópica do revestimento, os valores de dureza em um mesmo revestimento por pulverização variam amplamente. A dureza trata-se de um parâmetro adequado que determina indiretamente a resistência à fadiga e ao desgaste dos revestimentos (MENDES, 2010).

PROCESSOS DE ASPERSÃO TÉRMICA

A seguir serão apresentadas as principais técnicas convencionais de aspersão térmica utilizadas para deposição de recobrimentos.

ASPERSÃO TÉRMICA A CHAMA – FS

A técnica de aspersão por chama FS (Flame Spray), também conhecido como processo a chama oxiacetilênica, utiliza o aquecimento o calor proveniente da queima de uma mistura de oxigênio e gases combustíveis, preferencialmente o acetileno como fonte de aquecimento, podendo acarretar em chamas de temperaturas até 3160 °C. O material a ser aspergido pode estar na forma de arame ou pó. No caso do arame, o material é conduzido axial ou radialmente de forma contínua até o bico da tocha por uma turbina movida, na maioria dos casos, a ar comprimido. Para o pó, o material é direcionado até a chama de forma axial por alimentadores remotos, ou por gravidade (NOVICKI, 2008).

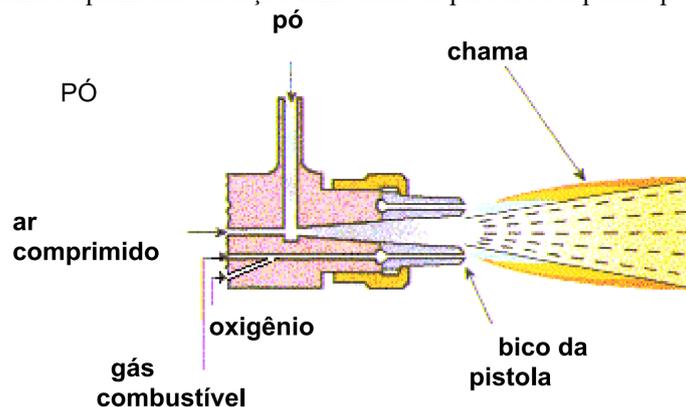
Aspersão térmica a chama utilizando pó

Na alimentação em forma de pó, o reservatório pode ser separado ou acoplado na tocha. O pó é transportado por um sistema de alimentação a ar, por gravidade ou fluxo de oxigênio. A taxa de fluxo de gás de transporte é de 3 a 5 l/min e a taxa de alimentação a pó varia entre 50 a 100 g/min. Geralmente os recobrimentos possuem baixa resistência adesiva e coesiva e uma porosidade maior comparados com os outros processos, ocasionados por conta de menores



temperaturas e velocidades de partículas. Para reverter este caso, utiliza-se pós fusíveis ou autofluxante, que reagem com o oxigênio para formação de óxidos de densidade mais baixa. Com isso, os óxidos formados vão para a superfície, o que resulta em uma melhor densidade e aderência. Utiliza-se, ligas à base de níquel (Ni) e cobalto (Co) para se revestir neste processo na maioria dos casos (LIMA; TREVISAN, 2007). A Figura 4 representa o desenho esquemático da seção transversal da pistola de aspersão térmica por chama utilizando pó.

Figura 4: Desenho esquemático da seção transversal da pistola de aspersão por chama com pó.



Fonte: Novicki, 2008.

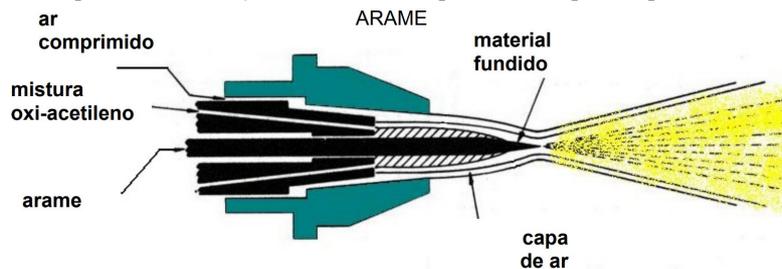
Aspersão térmica a chama utilizando arame

A técnica de aspersão térmica utilizando arame envolve a combustão de um gás combustível misturado com oxigênio com o intuito de fundir o material de deposição, ocorrendo dentro de um bocal refrigerado a ar. Os gases quentes são liberados por meio da tampa do bocal e acelerados por uma corrente de ar de alta velocidade. Com o uso de um sistema de alimentação que pode ser através de roletes que são tracionados por motor pneumático, motor elétrico ou por uma turbina de ar, pode-se realizar a aplicação com o material na forma de arame ou vareta. O material é direcionado de maneira central e axial para dentro da chama, ficando no estado semifundido ou fundido na ponta da tocha. Por fim, as gotículas são aceleradas pelo ar comprimido até o substrato (BUZANELLI, 2017).

A Figura 5 representa o desenho esquemático da seção transversal da pistola de aspersão térmica por chama utilizando arame.



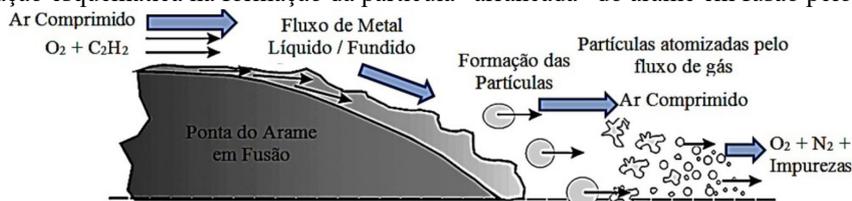
Figura 5: Desenho esquemático da seção transversal da pistola de aspersão por chama utilizando arame.



Fonte: Novicki, 2008.

A Figura 6 demonstra uma ilustração esquemática da fusão de um arame sólido no processo de aspersão térmica por chama, em que o ar comprimido auxilia no desprendimento das partículas do arame aquecido pela chama oxi-acetilênica no bico da tocha. O arame aquecido em temperaturas na faixa de 1.000 a 1.200 °C está em estado plástico e facilita que o ar comprimido arraste o material na forma de partículas de formatos e geometrias diferentes, as quais são arrancadas e transferidas. No trajeto entre o bico e o substrato, o ar comprimido entra em contato com o arame aquecido a elevada temperatura, transportando na sequência as partículas até a colisão com o substrato, o que ocasiona na aderência (DA SILVA; PAREDES, 2016).

Figura 6: Ilustração esquemática na formação da partícula “arrancada” do arame em fusão pelo ar comprimido.



Fonte: Da Silva; Paredes, 2016.

ASPERSÃO TÉRMICA DE SPRAY POR COMBUSTÃO EM ALTA VELOCIDADE – HVOF

Na tecnologia de spray por combustão em alta velocidade, tem-se que a velocidade hipersônica da chama diminui o tempo de interação entre o a chama e o pó. Outrossim, a elevada energia cinética cativada pelas partículas de pó garante uma boa coesão nos revestimentos e permite produzir materiais isentos de porosidade significativa (VERDON; KARIMI; MARTIN, 1998).

Neste método, o material em forma de pó ou fio é fundido e impulsionado em alta velocidade na da superfície com o auxílio de misturas de gás combustível e oxigênio. Propano, propileno, metano, acetileno, hidrogênio, etileno, GLP e MAPP (gás estabilizado com metileno-propadieno) são exemplos de gases utilizados como combustíveis de combustão. Este sistema consiste de uma unidade de alimentação de pó, unidade de medidor de vazão, unidade

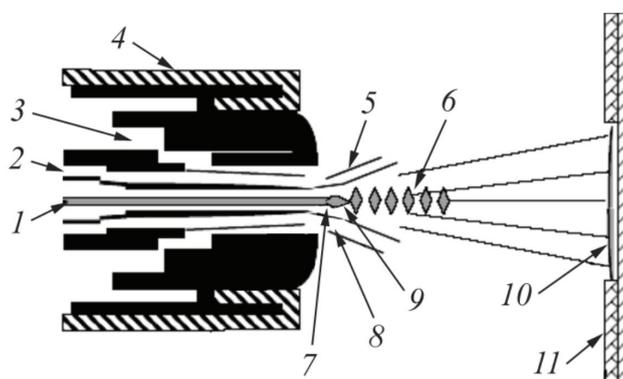


de suprimento de ar e gás e uma pistola de aspersão. A unidade de alimentação de pó consiste em um conjunto de tremonha, medidor de taxa de alimentação, gabinete de controle e vibrador de ar (SIDHU; PRAKASH; AGRAWAL, 2005).

Por conta de a temperatura da chama ser relativamente pouco elevada, ocorre dificuldade na aspersão térmica por esse método em alguns metais refratários e cerâmicos. Além disso, as altas velocidades empregadas sobre as partículas no momento do impacto sobre o substrato resultam em que as partículas podem não estar totalmente fundidas para gerar um revestimento de alta qualidade. Isto pode acarretar na minimização de problemas envolvendo tensões residuais no substrato de revestimentos espessos e em diâmetros internos por não haver superaquecimento das partículas (LIMA; TREVISAN, 2002).

Além disso, o processo de aspersão térmica HVOF é predominantemente usado em situações que necessitem de barreiras resistentes ao desgaste, oxidação e corrosão, acarretando em maior vida útil quando comparado com o substrato não revestidos (SIDHU; PRAKASH; AGRAWAL, 2005). A Figura 7 representa o corte transversal esquemático do sistema HVOF Diamante

Figura 7: Corte transversal esquemático do sistema HVOF Diamante: (1) pó com gás de arraste nitrogênio, (2) oxi-propileno, (3) ar comprimido, (4) cabeça da pistola, (5) envelope de ar, (6) diamantes de choque devido para propagação supersônica das partículas, (7) chama de oxicorte balanceada, (8) zona de combustão, (9) partículas de pó fundido, (10) material pulverizado, (11) substrato ou matriz de formação.



Fonte: Sidhu; Prakash; Agrawal, 2005.

PROCESSOS DE ASPERSÃO TÉRMICA BASEADOS EM PLASMA

Nos próximos tópicos serão abordados processos de aspersão térmica baseados em plasma térmico, por este motivo primeiramente se faz necessário a apresentação de alguns conceitos básicos sobre plasmas.



PLASMA

O plasma pode ser definido como um gás total ou parcialmente ionizado, caracterizado pela coexistência de espécies eletricamente carregadas (elétrons e íons), neutras (moléculas e átomos) e fótons, em estados fundamental ou excitados, por diferença de potencial elétrico a determinada pressão ou por meio da aplicação de uma transferência de energia aplicada de modo térmico (CHAPMAN, 1980) (PESSOA, 2009). Em geral, de acordo com a taxa de ionização, o plasma é classificado em quente ou frio. O plasma quente é geralmente categorizado quando o gás é totalmente ionizado como ocorre no sol e nos reatores de fusão (alcança temperaturas acima de 10^7 K). De outro modo, os plasmas frios, com menor grau de ionização e temperaturas mais baixas, se dividem em dois subtipos: plasma térmico e não térmico, diferenciando-se quanto ao equilíbrio térmico das espécies do gás (PRADO et al., 2020) (PANKAJ; KEENER, 2017). Plasma térmico apresenta equilíbrio termodinâmico, ou seja, a temperatura dos elétrons é igual à temperatura das partículas pesadas ($T_g \approx T_e$), plasma não térmico é caracterizado pelo não equilíbrio termodinâmico ($T_e \gg T_g$) (FRIDMAN, 2012). Devido as características dos processos de aspersão térmica, como, a necessidade de temperaturas elevadas, o plasma térmico é o método mais adequado. Para isso existem algumas abordagens típicas para geração de plasma térmico, que geralmente acontecem por meio de tochas de plasma.

TOCHA DE PLASMA: CONCEITOS BÁSICOS

Tochas de plasma são dispositivos utilizados para estabilizar uma descarga elétrica com fluxo de gás, objetivando a conversão da energia elétrica em energia térmica. Em uma tocha de plasma térmico, operando a partir de descarga elétrica, o plasma de alta entalpia resulta da interação do gás com o arco elétrico. O estudo de descargas elétricas em gases e a formação do jato de plasma envolvem fenômenos de dinâmica do gás, transferência de massa e calor, processos eletrofísicos e aerotermodinâmicos (SOLONENKO, 2003).

Tochas de plasma podem ser classificadas de acordo com a fonte de energia elétrica, ou seja, arcos elétricos podem ser gerados a partir de uma fonte de corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA), ou pelo tipo de descarga utilizada, que podem ser de arco transferido e arco não transferido (ESSIPTCHOUK et al., 2009).

No projeto de uma tocha de plasma térmico, além do tipo de fonte de energia elétrica, deve-se considerar também a entalpia e temperatura do jato de plasma adequado à aplicação, a escolha de materiais aplicados em tochas de plasma, em especial aqueles expostos ao arco



elétrico, são submetidos a elevado gradiente térmico e erosão no local de fixação do arco elétrico. Propriedades como calor específico, temperatura de fusão, coeficiente de expansão térmica, condutividade térmica, função trabalho e resistividade elétrica, devem ser consideradas na escolha destes materiais (CALIARI, 2016).

O cátodo geralmente em forma de haste com uma ponta cônica, deve ser construído de um material com boa função trabalho (emissão de elétrons) para iniciar e sustentar o arco elétrico e o ânodo concêntrico geralmente de cobre. O arco elétrico se inicia por meio de uma descarga de alta voltagem ou um pulso de alta frequência e é então estabilizado e mantido (HERMAN, 1988). A partir disso, um gás de trabalho é injetado, passando pelo arco elétrico, o qual é ionizado para a formação do plasma, este por sua vez é expandido e acelerado para a formação do jato de plasma (VARDELLE *et al.*, 2015).

Tochas convencionais produzem jatos de plasma com uma entalpia específica que variam entre 5 e 35 MJ/kg e funciona com baixa tensão de arco (~ 70 V), mas correntes relativamente altas (400–1000 A). Devido a essas características as tochas de plasma são utilizadas em processos de aspersão térmica para a deposição de recobrimentos para as mais variadas aplicações. Normalmente, o material aspergido que irá formar o recobrimento é injetado no jato de plasma radialmente ao eixo da tocha alguns milímetros da saída do bocal (VARDELLE *et al.*, 2015). Por outro lado, o desenvolvimento de tochas de plasma é motivado pela solicitação de melhorar a estabilidade do arco e aumentar a gama de pós a serem usados e a qualidade da superfície do recobrimento. Recentemente, novos conceitos de tochas de plasma estão sendo reportados na literatura, a principal diferença de outras construções é que o eixo da câmara de descarga é perpendicular à injeção de pó que está alinhada com a saída do jato de plasma (CALIARI *et al.*, 2016).

ASPERSÃO TÉRMICA POR ARCO ELÉTRICO – ASP

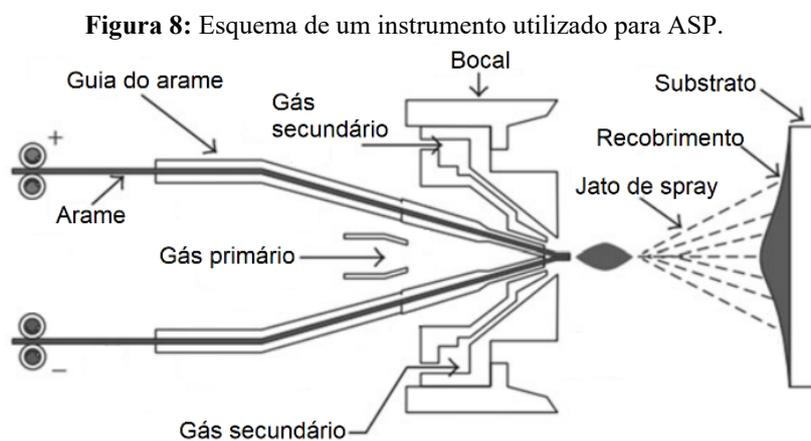
A técnica de aspersão térmica por arco elétrico conhecida como ASP (Arc Spray Process). A ASP é um processo de deposição de custo relativamente baixo quando comparado a outros processos envolvendo aspersão térmica. Nesta técnica, os materiais a serem depositados são introduzidos no plasma como arames na forma de eletrodos consumíveis. Os recobrimentos por ASP são normalmente mais densos e mais fortes do que os revestimentos por aspersão equivalentes (GEDZEVICIUS; VALIULIS, 2006). O alumínio e o zinco podem ser utilizados como material de aspersão para a proteção catódica contra a corrosão.



Recobrimentos de metais mais nobres devem ter uma estrutura muito densa e homogênea para proteger o substrato da corrosão (STEFFENS; BABIAK; WEWEL, 1990).

No processo de ASP, dois eletrodos isolados de arame consumíveis são alimentados ao ponto de curto-circuito, carregados eletricamente com cargas opostas, um arame é o catodo negativo e o outro é o anodo positivo, ambos em um fluxo de gás de atomização que geralmente trata-se de ar comprimido. As fusões acontecem quando os arames são alimentados conjuntamente e um arco controlado é gerado. Devido ao princípio de funcionamento, o material de aspersão em forma de fio deve ser eletricamente condutor. A utilização de arames tubulares permite além da aspersão de metais e ligas metálicas e também de carbonetos numa matriz metálica (STEFFENS; BABIAK; WEWEL, 1990).

O processo de ASP é mostrado esquematicamente na Figura 8.



Fonte: Fitriyana *et al.*, 2020.

Normalmente, a corrente do arco pode ser ajustada entre 50 e 2000 A dependendo da capacidade de aspersão. Uma fonte de alimentação de potencial constante é utilizada para fornecer uma tensão entre 18 e 40 V, dependendo do material de aspersão. Para que sejam produzidos recobrimentos mais lisos e densos, a tensão deve ser mantida no nível mais baixo em relação à estabilidade do arco (STEFFENS; BABIAK; WEWEL, 1990).

Os recobrimentos aspergidos a ASP também oferecem excelente resistência à corrosão atmosférica e são usados em pontes e outros componentes de infraestrutura. Além dos mais, são amplamente utilizados para combater a corrosão de alta e baixa temperatura (GEDZEVICIUS; VALIULIS, 2006).

PROCESSO DE AT POR PLASMA DE ARCO TRANSFERIDO – PTA

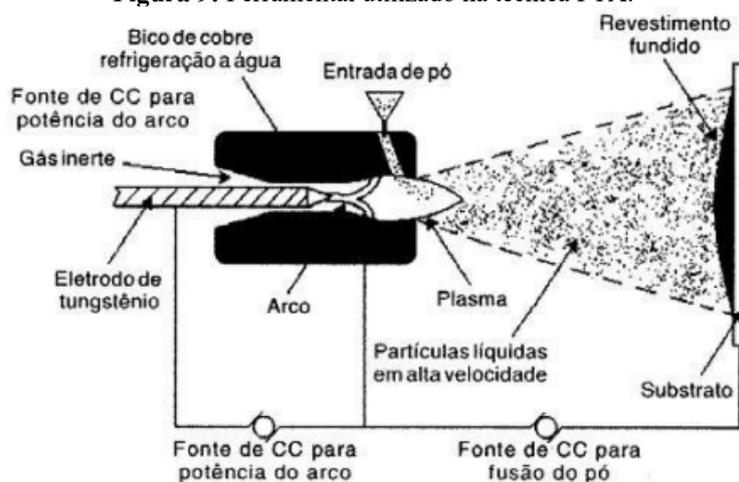
A técnica de aspersão por plasma de arco transferido PTA (Plasma Transferred Arc), adiciona ao processo de aspersão a plasma a capacidade de aquecimento e fusão superficial do



substrato. Com isso, pode-se considerar que é uma combinação de processos de aspersão térmica e soldagem. Neste processo, é estabelecida uma corrente secundária entre substrato (que é condutor) e o eletrodo da pistola. A fusão superficial e a profundidade de penetração são controladas através da corrente do arco secundário (LIMA; TREVISAN, 2002).

O PTA representa um processo eficiente para melhorar as propriedades da superfície para proteção contra desgaste e corrosão, tendo como vantagem a alta gama de materiais em pó para escolha, permitindo melhor ajuste para o revestimento desejado. Um exemplo de aplicabilidade da técnica PTA é o revestimento de rolos de britagem na indústria de mineração com ligas de níquel (Ni) com carboneto fundido de tungstênio inserido (WSC). Nesse tipo de aspersão, o arco piloto é estabelecido entre o bico de plasma de cobre (sendo este o ânodo) e o eletrodo de tungstênio não consumível; o arco transferido é formado entre o substrato e o eletrodo de tungstênio (WILDEN; BERGMANN; FRANK, 2006). A Figura 9 demonstra o ferramental utilizado na técnica PTA.

Figura 9: Ferramental utilizado na técnica PTA.



Fonte: Lima; Trevisan, 2002.

PROCESSO DE AT POR PLASMA NO VÁCUO – VPS

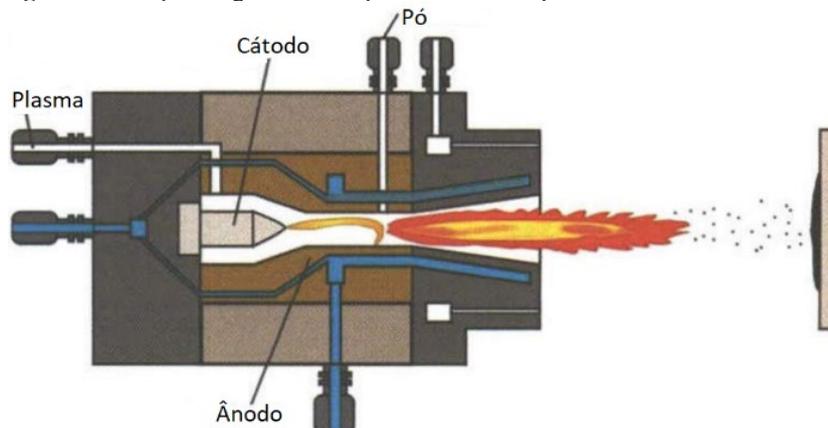
A aspersão de plasma a vácuo (VPS) é uma técnica em que as partículas amolecidas pelo calor ou fundidas em tamanhos de 10 a 100 μm aceleram em encontro ao substrato, onde ocorrem os splats achatam e solidificam. Os revestimentos VPS na maioria dos casos acarretam em densidades mais elevadas do que as possíveis com outros processos de aspersão térmica. A atmosfera controlada da câmara durante o processo provoca a tendência em reduzir a quantidade de contaminantes e impurezas, resultando em deposições de melhor qualidade. Por conta da alta densidade energética do plasma térmico, materiais com pontos de fusão altos, como cerâmicas e metais refratários, podem ser depositados por esse processo. Por fim, quase



qualquer material disponível na forma de pó com uma fase líquida estável pode ser aspergido por meio dessa técnica (AZARMI, 2005).

A Figura 10 representa o esquema genérico do processo de aspersão térmica por plasma no vácuo – VPS

Figura 10: Esquema genérico do processo de AT por Plasma no Vácuo – VPS.



Fonte: Azarmi, 2005.

PROCESSO DE AT POR PLASMA EM ATMOSFERA CONTROLADA – CAPS

A técnica de aspersão térmica por plasma em atmosfera controlada (Controlled Atmosphere Plasma Spraying – CAPS) combina métodos convencionais de aspersão de plasma com condições ambientais controladas – temperatura, pressão, potencial elétrico, composição e atmosfera gasosa – para criar um verdadeiro sistema termodinâmico. O sistema CAPS resulta em equipamentos multiprocessos que podem operar em atmosfera controlada com aspersão de ar, nitrogênio ou argônio (SARAFOGLOU *et al.*, 2007).

A técnica CAPS pode ser utilizada para confinar materiais perigosos (de autoignição ou tóxicos) e restringir a formação de óxidos que poderiam ocorrer na aspersão ao ar atmosférico. Nesta técnica, a resistência adesiva aumenta devido as mais altas temperaturas do substrato permitirem a difusão do recobrimento (DE MENEZES, 2007).

ASPERSÃO TÉRMICA POR PLASMA SPRAY - PS

Devido a elevada temperatura do plasma, ocorre a deposição de uma gama de materiais que incluem os refratários e materiais com baixo ponto de fusão. Esta técnica usa uma mistura de gases ionizados por uma corrente elétrica ao passarem entre dois eletrodos (ânodo e catodo) (LIMA; TREVISAN, 2007).

Com isso, forma-se um arco de plasma que atinge alta velocidade e temperatura. A elevada temperatura é a característica principal de processos a plasma. Recobrimentos de



elevada qualidade são obtidos a partir de variações nesses processos, podendo-se destacar a utilização de câmaras de atmosfera controlada, que apresentam em recobrimentos de melhor qualidade, com menor porosidade, maior adesão, mínima presença de óxidos e maior dureza entre outras características. Por outro lado, os empecilhos desse processo são as complexidades desse equipamento, incluindo a necessidade de refrigeração do eletrodo de cobre (LIMA; TREVISAN, 2007).

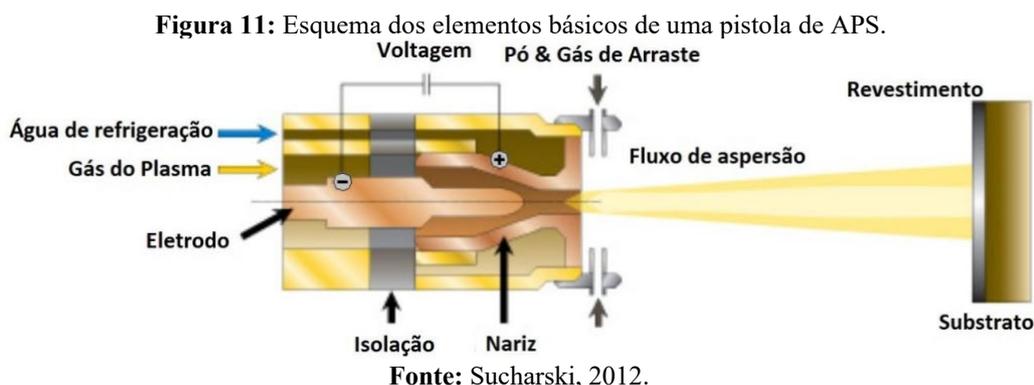
PROCESSO DE AT A PLASMA DE ARCO NÃO TRANSFERIDO – APS

O tipo de deposição por plasma realizado em atmosfera ambiente é denominado como APS. Esta técnica consiste em um arco elétrico “não transferido” devido a este arco ser constringido entre um eletrodo de tungstênio coaxialmente alinhado em um bocal de contração. O objetivo da constrição se baseia em aumentar a densidade de energia do fluxo de arco (LIMA; TREVISAN, 2007).

O plasma tem sua zona central constituída pelo gás inerte ionizado, podendo ser argônio, nitrogênio, adições de hidrogênio e hélio, que aumentam a velocidade e potência do plasma. Em sua passagem o gás é aquecido, ocasionando no plasma (LIMA; TREVISAN, 2007).

No momento em que o plasma sai da pistola, moléculas dissociadas de um gás diatômico recombinam e liberam calor. Alimenta-se o pó no plasma, fundido e acelerado em direção ao substrato em um fluxo de alta velocidade. A taxa de fluxo de gás de plasma, tipo de bocal constritor, composição da mistura de gases e intensidade da corrente elétrica controlam os parâmetros referentes a velocidade do jato de plasma energia e temperatura. A constrição do arco é induzida forçando o arco de plasma através de um orifício em um ânodo de cobre resfriado a água, com o objetivo de controlar e aumentar a densidade de energia do fluxo do arco através dessa constrição (HERMAN; SAMPATH, 1996). Em uma pistola típica o plasma pode alcançar uma velocidade de 800 m/s e temperatura de 17000°C (MENEZES, 2007).

Na Figura 11 é apresentado um esquema genérico do processo de APS.





CONSIDERAÇÕES FINAIS

O grande número de processos industriais que operam em ambientes altamente agressivos é caracterizado pela alta temperatura, elevado gradiente de temperatura, alta pressão, alta tensão sobre os elementos que integram o sistema, materiais particulados e a presença de atmosferas oxidantes e corrosivas. Componentes utilizados na indústria, como turbinas a vapor, turbinas a gás, na conversão de carvão, refinamento de petróleo e geração de energia nuclear têm a alta temperatura e oxidação como os principais mecanismos de falha.

Neste contexto o presente trabalho teve como objetivo apresentar as características dos processos de aspersão térmica para o processamento e deposição de materiais para proteção de substratos/sistemas, tendo como foco principal o processo de aspersão térmica utilizando a tecnologia de plasma térmico.

REFERÊNCIAS

AHMAD, Z. *et al.* *Mechanism of Corrosion and Erosion Resistance of Plasma-Sprayed Nanostructured Coatings*. *High Temperature Corrosion*, 2016.

AZARMI, F.. *Vacuum Plasma Spraying*. August, p. 37–39, 2005.

BOARÃO, D. L.; SILVA, D. F.. *Aspersão térmica por chama de alta velocidade (HVOF)*. 2020.

BUZANELLI, A. C.. *Análise do revestimento de 410 NiMo depositado por aspersão térmica a chama arame*. 2017. 2017.

CALIARI, F. R.. *Desenvolvimento de processo de deposição via plasma térmico de materiais cerâmicos e metálicos em substrato de liga de titânio para aplicações aeroespaciais*. 2016. 119 f. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO, 2016.

CALIARI, F. R.; Miranda, F. S.; Reis, D. A. P.; Charakhovski, L. I.; Essiptchouk, A. (2016). *Plasma torch for supersonic plasma spray at atmospheric pressure*. *Journal of Materials Processing Technology*, 237, 351-360.

CHANDRA, S.; FAUCHAIS, P.. *Formation of solid splats during thermal spray deposition*. *Journal of Thermal Spray Technology*, v. 18, n. 2, p. 148–180, 2009.

CHAPMAN, B.. *Glow Discharge Processes*. New York: 1980.

CORTÉS, P. R.. *Estudo de revestimentos de alumínio depositados por três processos de aspersão térmica para a proteção do aço contra a corrosão marinha*. 1998. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 1998.

CRAWMER, D. E. *Handbook of thermal spray technology*. ASM International: 2004.



DA SILVA, V. C.; PAREDES, R. S. C.. *Efeito do pré-aquecimento e de Único e múltiplos passes no grau de porosidade, oxidação e microdureza de um revestimento de aço inoxidável duplex depositado por aspersão térmica chama arame*. Soldagem e Inspecao, v. 21, n. 4, p. 529–541, 2016.

DE MENEZES, D. D.. *Avaliação da Resistência À Corrosão de Revestimentos de Alumínio Aplicados Pelas Técnicas de Arco Elétrico e Chama Convencional, Em Meio Cloreto*. 2007. 168 f. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2007.

DEY, A. *et al.*. *Cold plasma processing: A review*. Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, v. 9, n. 4, p. 2980–2984, 2016.

ESSIPTCHOUK, A. M.; CHARAKHOVSKI, L. I.; FILHO, G. P.; *et al.*. *Thermal and power characteristics of plasma torch with reverse vortex*. Journal of Physics D: Applied Physics, v. 42, n. 17, p. 175205, 2009.

ERKMEN, Z. E.. *The effect of heat treatment on the morphology of D-gun sprayed hydroxyapatite coatings*. Journal of Biomedical Materials Research, v. 48, n. 6, p. 861–868, 1999.

FITRIYANA, D. F. *et al.*. *The Effect of Compressed Air Pressure and Stand-off Distance on the Twin Wire Arc Spray (TWAS) Coating for Pump Impeller from AISI 304 Stainless Steel*. Springer Proceedings in Physics, v. 242, n. January, p. 119–130, 2020.

GEDZEVICIUS, I.; VALIULIS, A. V.. *Analysis of wire arc spraying process variables on coatings properties*. Journal of Materials Processing Technology, v. 175, n. 1–3, p. 206–211, 2006.

HERMAN, H; SAMPATH, S.. *Thermal Spray Coatings. Metallurgical and Ceramic Protective Coatings*, p. 261–288, 1996.

HERMAN, H.. *Plasma Spray Deposition Processes. MRS Bulletin*, n. December 1988, p. 60–67, 1988.

LIMA, C. C.; TREVISAN, R.. *Aspersão térmica: fundamentos e aplicação*. 1. ed. São Paulo: 2002.

LIMA, C. R. C.; TREVISAN, R. E. *Aspersão térmica: fundamentos e aplicações*. 2. ed. São Paulo: 2007.

MENDES, M. W. D.; SOUZA, E. C.; BRITO R. A.; ALVES JR, C.. *Caracterização da Aspersão Térmica de Misturas de Ta₂O₅ + Al em Substratos de Aço Inox 316*. n. 1, p. 9060–9067, nov. 2010.

MENDES, M. W. D.. *Revestimentos a base de Ta/Al₂O₃ produzidos por aspersão térmica sobre substrato metálico*. 2010. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, 2010.

NOVICKI, N.. *Aplicação Da Aspersão Térmica Na Soldagem Em Operação De Tubulações Com Pequena Espessura Remanescente*. 2008. 207 f. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2008.



PANKAJ, S. K.; KEENER, K. M.. *Cold plasma: background, applications and current trends. Current Opinion in Food Science*, v. 16, p. 49–52, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2017.07.008>>.

PESSOA, R. S. *Estudos de plasmas fluorados aplicados em corrosão de silício usando simulação de modelo global e diagnósticos experimentais*. 2009. 229 f. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2009.

PRADO, E. S. P., et al.. *Thermal Plasma Technology for Radioactive Waste Treatment: A Review*. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 325, no 2, agosto de 2020, p. 331–42. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1007/s10967-020-07269-4>

ROCHA, R. C. S.. *Estudo de Revestimentos Obtidos Por Aspersão Térmica de Pós de Fe-NbC Em Tocha de Plasma*. 2017. 104 f. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE PROGRAMA, 2017.

SARAFILOGLOU, C., et al.. Study of Al₂O₃ coatings on AISI 316 stainless steel obtained by controlled atmosphere plasma spraying (CAPS). *Surface and Coatings Technology*, v. 202, n. 1, p. 155–161, 2007.

SIDHU, T. S.; PRAKASH, S.; AGRAWAL, R. D.. Studies on the properties of high-velocity oxy-fuel thermal spray coatings for higher temperature applications. *Materials Science*, v. 41, n. 6, p. 805–823, 2005.

SINGH, L.; CHAWLA, V.; GREWAL, J.S.. A Review on Detonation Gun Sprayed Coatings. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, v. 11, n. 03, p. 243–265, 2012.

STEFFENS, H. D.; BABIAK, Z.; WEWEL, M.. *Recent developments in arc spraying*. *IEEE Transactions on Plasma Science*, v. 18, n. 6, p. 974–979, 1990.

SOLONENKO, O.. *Thermal Plasma Torches and Technologies: Plasma Torches, Basic Studies and Design*. *Annals of Physics*, p. 397, 2003.

SUCHARSKI, G. B.. *Deposição de Revestimentos Tipo Barreira Térmica Por Aspersão Térmica*. 2012. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 2012.

VARDELLE, A. et al.. *A Perspective on Plasma Spray Technology*. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, v. 35, n. 3, p. 491–509, 2015.

VERDON, C.; KARIMI, A.; MARTIN, J. L.. A Study Of High Velocity Oxy-Fuel Thermally Sprayed Tungsten Carbide Based Coatings. Part 1: Microstructures. *Materials Science and Engineering A*, v. 246, n. 1–2, p. 11–24, 1998.

WILDEN, J.; BERGMANN, J. P.; FRANK, H.. *Plasma Transferred Arc Welding - Modeling and Experimental Optimization*. *Proceedings of the International Thermal Spray Conference*, v. 15, n. December, p. 779–784, 2006.



CAPÍTULO 30

REDES SEM FIO EM AMBIENTES FLORESTAIS COM USO DE INTERNET DAS COISAS (IOT)

Paulo Henrique de P. Araújo
Siomara D. da Rocha

RESUMO

O objetivo geral foi discutir sobre as redes sem fio em ambientes florestais com uso de internet das coisas (IOT). O ambiente florestal é muito desafiador devido à dificuldade de propagação das ondas eletromagnéticas. Essa dificuldade torna-se mais pronunciada em florestas tropicais, como a Mata Atlântica, impossibilitando a para garantir uma conexão contínua. Como forma de responder a este desafio, aplicativos que usam a tecnologia DTN (rede tolerante a atrasos e interrupções) com troca de mensagens e armazenamento persistente de dados de localização. Este estudo consiste numa revisão da literatura. Para tanto foram utilizadas as seis etapas características desse tipo de estudo: elaboração da pergunta norteadora; busca ou amostragem na literatura; coleta de dados; análise crítica dos estudos incluídos; discussão dos resultados.

PALAVRAS-CHAVE: IOT. DTN. Redes em fio.

INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (IoT) é uma realidade, com novas aplicações e tecnologias surgindo a cada dia. no aplicativo disponível ou aprimorados por meio da IoT são aqueles que permitem o monitoramento de pessoas e prestação de serviços com base na sua localização (LBS - Location Based Services), emergência, enfermagem saúde, bem-estar, notícias e advocacia com pessoas vulneráveis são exemplos de aplicativos LBS que se beneficiam da IoT, tecnologia de rede sem fio (DE QUEIROZ et al., 2018).

O ambiente florestal é muito desafiador devido à dificuldade de propagação das ondas eletromagnéticas. Essa dificuldade torna-se mais pronunciada em florestas tropicais, como a Mata Atlântica, impossibilitando a para garantir uma conexão contínua. Como forma de responder a este desafio, aplicativos que usam a tecnologia DTN (rede tolerante a atrasos e interrupções) com troca de mensagens e armazenamento persistente de dados de localização (FERREIRA, et al., 2019).

O objetivo geral foi discutir sobre as redes sem fio em ambientes florestais com uso de internet das coisas (IOT).



METODOLOGIA

Durante a fase exploratória, foi realizada uma revisão teórica com o objetivo de aprofundar os conhecimentos no tema para a segunda fase que foi uma pesquisa descritiva por meio de pesquisa bibliográfica com os objetivos descritos a fim de apresentar de modo mais eficiente o problema, foi também feito o levantamento e tratamento de dados. A busca das produções científicas foi realizada durante os anos de 2015 a 2022 e abrangeu artigos de livre acesso escritos na língua portuguesa e publicados na íntegra.

Foram excluídos trabalhos de conclusão de curso, artigos escritos em outro idioma diferente do português, duplicados, pagos ou sem relação com o tema proposto. As buscas das produções científicas ocorreram nas bases de dados google acadêmico e Scielo. A análise crítica dos artigos selecionados observou criteriosamente seus objetivos, métodos usados, resultados e discussões apresentadas, apresentando assim os resultados desta revisão.

RESULTADO E DISCUSSÃO

SISTEMA DE MONITORAMENTO

As atividades de ecoturismo estão atraindo cada vez mais participantes. Infelizmente, também há cada vez mais visitantes de parques naturais que se deparam com situações perigosas. O risco mais grave e comum é se perder ou bater em um ambiente desconhecido. Rastreamento de localização do visitante permite que as equipes de resgate atuem com mais rapidez e eficiência. No entanto, isso requer alguma forma de comunicação dentro da floresta (GOURSAUD, GORCE, 2015).

O sistema de monitoramento proposto consiste no ponto de acesso sem fio carregado pelo visitante, o totem e a infraestrutura do terminal móvel vestível, e um protocolo para localizar aplicativos e uma troca de mensagens canônica entre dispositivos. Os totens são capazes de anunciar suas coordenadas e fornecer comunicações de dados aos terminais, encaminhando seus dados para a nuvem. comunicar entre o totem e a nuvem será feito por qualquer meio disponível: 2G, 3G etc. (MARAIS, MALEKIAN, ABU-MAHFOUZ, 2017).

Essa infraestrutura deve ser reduzida, pois não é viável no parque devido ao custo cobertura total. Os totens devem ser colocados onde permitam uma cobertura ideal, levando em consideração o sinal na pista, atenuação causada por diferentes sinais a altura entre as antenas e o risco de cada parte terminal. Os dispositivos móveis trocam regularmente dados de localização com totens e entre si, permitindo acompanhar o movimento do visitante (REYNDERS; POLLIN, 2016)



De acordo com a Federação de Esportes de Montanha do Estado do Rio de Janeiro (FEMERJ), trilha média, até 12 km, descida até 600 m para subidas e descidas de 800 m, pode percorrer a uma velocidade média de 6 km/h (100 m/min) por profissionais treinados (FEMERJ, 2015). Consideramos este arquivo de configuração. Para os visitantes do parque, pois temos a média mais baixa contato entre os terminais.

Como o módulo LoRa utilizado tem um alcance de aprox. 200 m, conforme descrito na Seção 5, o alcance de dois visitantes é de aprox. 2 minutos para descobrir a presença um do outro e trocar informações de localização. A cada minuto, o terminal emite um sinalizador que permite iniciar a comunicação. A outra está dentro de sua cobertura, um círculo de cerca de 400 m de diâmetro (TAHAT et al., 2016).

Durante este período, de acordo com a velocidade de viagem estimada dos turistas e alcance do sinal, mantendo o consumo de bateria baixo enquanto ainda permite pelo menos há duas oportunidades para reconhecimento e troca de dados durante cada intervalo de contato. É importante que as oportunidades de comunicação não sejam únicas porque as transmissões não são confiáveis e os beacons podem ser perdidos. Identificação de notificação de beacon o terminal e se o visitante está em risco (sinal de ajuda) (DE QUEIROZ et al., 2018).

Usado para estimar sua localização e fornecer roteamento prioritário para solicitações de ajuda e devolva a nota de resgate. Minimizar o impacto de possíveis perdas de pacotes de dados, mensagens de socorro serão enviadas a cada 30 segundos até que o terminal uma notificação de resposta é recebida, confirmando o envio da equipe de resgate. Aplicativo de localização para monitoramento de visitantes e serviços de segurança, baseado em (), trabalhando em recomendar-se estimar a localização do visitante através da troca de informações entre os sensores de frequência de rádio.

Apresentou o conceito de um sensor de mira, que registra avistamentos, armazena e transmite informações de localização que descrevem outros sensores. Ao se encontrarem no caminho, os sensores se tornam testemunhas um do outro e trocam seus dados de localização, que serão enviados ao repositório via ponto de acesso (AP - Ponto de Acesso). Esses dados constituem histórico de posições anteriores de vários sensores, que podem ser usados para estimar sua localização (TAHAT et al., 2016).

Para minimizar a complexidade de implementação, portanto, a necessidade de lidar com terminais móveis, pilha de IP não é implementada. Os aplicativos são executados diretamente na camada física. O sistema proposto aumenta a probabilidade de chamadas de socorro proativas



alguns usuários. Isso é feito criando dois tipos de mensagem e adicionando um campo, sinalizadores de ajuda (DE QUEIROZ et al., 2018).

Essas mensagens são chamadas de socorro e avisos de resgate, identificado por um sinal de ajuda. Esses ajustes permitem um serviço mais rápido para visitante arriscado. Não há necessidade de esperar muito até que o problema seja descoberto por dados ausentes para esse visitante específico na mensagem de outros visitantes (DE QUEIROZ et al., 2018). O registro de avistamento também foi ajustado, reduzindo seu tamanho. Esta redução destina-se a facilitar a transmissão de tecnologia de baixa frequência. Taxas de fluxo comumente usadas em IoT. Mensagens usadas na Figura 1 protocolo proposto. Cada um deles pode ter os seguintes campos:

- HF - Bandeira de Ajuda (2 dígitos) - Informa o visitante se for solicitada ajuda ou se houver equipe a caminho do resgate. No caso de uma chamada de socorro, ambos os bits têm o valor 0. Para uma nota de resgate, ambos os bits têm valor 1. Os 2 bits são usados para fornecer redundância e permite que os aplicativos detectem erros;
- ID (Celular ou Totem) (10 dígitos) – Identifica o totem ou terminal móvel, esta durante o intervalo de tempo monitorado, o endereço deve permanecer único em toda a região, defina para 24 horas. Caso o terminal não esteja dentro desse período máximo, ele um resgate é enviado mesmo sem um pedido, pois o visitante pode estar inconsciente;
- Record time (16 bits) - grava o momento do contato com outro terminal móvel, a precisão é de 1,5 segundos, como mostra a figura abaixo (TAHAT et al., 2016).

Figura 1: Formato das mensagens.



Fonte: (TAHAT et al., 2016).

A comunicação entre o terminal e o totem é definida pelo protocolo de comunicação da aplicação. A comunicação entre os terminais é assíncrona, conforme mostrado na Figura 2(a). Começa com o recebimento de um farol. O terminal registra a existência da outra parte, envia seu Identifique e solicite permissão para transferir seus registros armazenados, notifique sua contagem de saltos e limite de tempo de registro (TAHAT et al., 2016).



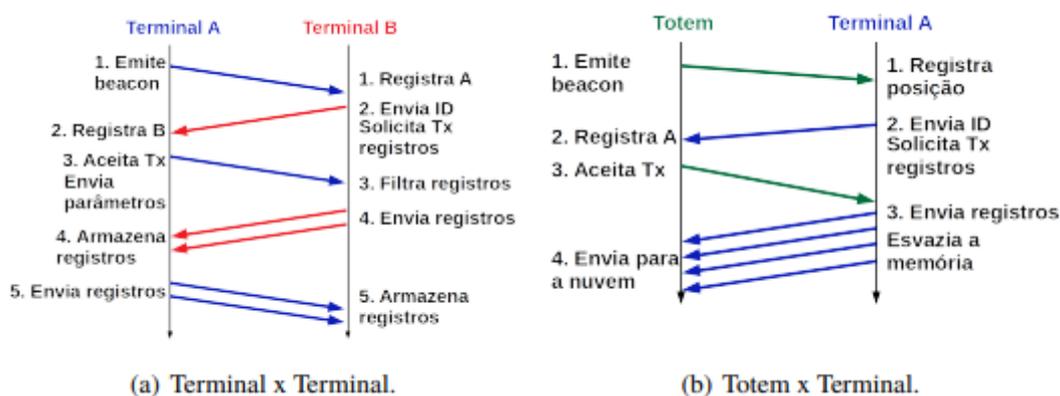
A contagem de saltos e o tempo de registro podem melhorar o gerenciamento de memória do terminal e evitar o recebimento de registros muito antigos ou que foram retransmitidos muitas vezes. De segunda categoria. Registros com valores superiores à notificação não são enviados (DE QUEIROZ et al., 2018).

A comunicação totem x terminal como mostra na figura abaixo também é assíncrona, por baliza. No entanto, o totem expõe suas coordenadas a cada 5 segundos porque não restrições de energia ou armazenamento, como terminais móveis. Muito importante aumenta a probabilidade de que os móveis que entram na área do totem consigam estabelecer comunicação (FERREIRA, 2020). O totem também registrou a passagem dos móveis, informando para que lado o visitante está. então faça previsões sobre quando isso vai acontecer os visitantes passarão pelo próximo totem na mesma trilha. Esta previsão é o acúmulo de registros sobre cada turista ao estimar sua velocidade média de viagem (DE QUEIROZ et al., 2018).

O ideal é que os totens sejam localizados pelo menos nas entradas e nos cruzamentos das trilhas, exceto em locais com riscos específicos, como cachoeiras e cavernas. Na Figura 2(b), o terminal a passa pela área de cobertura do totem e ouve baliza. O terminal atualiza suas coordenadas, notifica sua identidade e solicita transferir registros salvos em sua memória (TAHAT et al., 2016).

Após receber a aceitação, encaminha todos os registros em sua memória, limpe-os. Totem envia registros de entrada servidor usado para estimar a localização do visitante. Se houver um sinal de socorro, a solicitação é encaminhada para a equipe de resgate, que notificará quando a ajuda for enviada. A notificação de resgate tem uma função para encerrar o envio do pedido através do terminal do visitante em perigo. O terminal novamente emite apenas um beacon diários, reduza o consumo de bateria (DE QUEIROZ et al., 2018).

Figura 2: Comunicação em operação normal.



Fonte: (TAHAT et al., 2016).

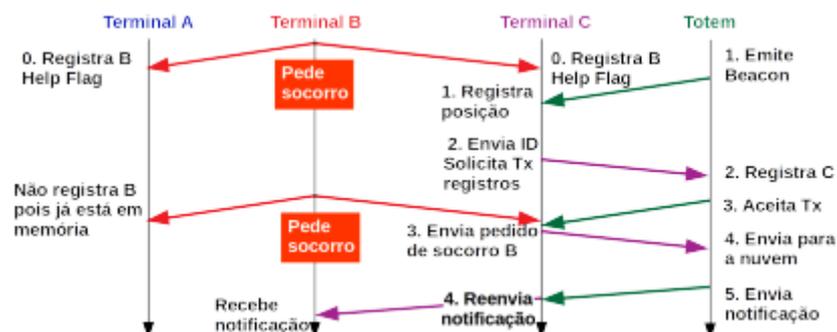


Os artigos em Ferreira, et al. (2019), apresentam avistamentos como forma de subsidiar a localização dos sensores nas redes conexão intermitente e seu uso com GPS. CenWits é um sistema de busca e salvamento em campo que utiliza sensores de radiofrequência transportados por turistas e opera na faixa de frequência de 900 MHz. Cada sensor recebe suas coordenadas do ponto fixo, ou do GPS, se disponível, e passe-as para outros durante nosso encontro subsequente.

Esta informação é baixada para o ponto de acesso distribuídos em vários locais. Esses dados consistem em histórico de localização e velocidade de viagem e podem ser usados para estimar a localização de um visitante perdido. O sistema foi projetado para redes que fornecem apenas conexões ocasionais. O projeto SenSearch, é uma solução de rastreamento assistido por GPS Baseado em CenWits (DE QUEIROZ et al., 2018).

Funciona da mesma maneira, mas o uso intensivo de GPS pode melhorar a estimativa de localização e melhorar a precisão. sistemático. Também foi realizado um estudo de ciclo de trabalho, reduzindo o tempo de ativação sensores GPS e RF para melhorar o uso da bateria, como mostra a figura abaixo (TAHAT et al., 2016).

Figura 3: Comunicação em emergência.



Fonte: (TAHAT et al., 2016).

O uso de sistemas de posicionamento alternativo GNSS vem crescendo à medida que o LBS aumenta onde há restrições, revisaram vários algoritmos de última geração empregados na estimativa de localização sem fio use um receptor móvel (SOHN; NADALINI, 2020). Para encontrar a localização de um dispositivo de RF, diferentes medidas podem ser usadas: intensidade do sinal medida por RSSI, Hora de Chegada (TOA - Hora de Chegada), Diferença de Hora de Chegada (TDOA - Diferença de Hora de Chegada), Diferença de Frequência de Chegada (FDOA - Diferença de Frequência de Chegada) Chegada) e Ângulo de Chegada (AOA - Ângulo de Chegada) etc. Outra área relacionada são os sistemas de contagem de mortos (DE QUEIROZ et al., 2018).



Compare algoritmos de cálculo de mortos para pedestres. O estudo foi limitado a sensores Medição Inercial Micro Eletromecânica (MEM IMU - Medição Inercial Micro Eletromecânica) unidade de medição de baixo custo e peso leve, colocada no porta-malas. Os resultados mostram soluções suficientes para estimar trajetórias com desvios abaixo de 5% da distância percorrida. No entanto, este tipo de sistema de navegação cego requer equipamentos além de IMUs que podem processar dados para gerar locais (TAHAT et al., 2016).

Pode ser um Raspberry Pi ou um tablet, o que dificulta o uso em ambiente florestal, exceto que a calibração inicial é necessária. Os principais avanços relacionados ao estado da arte para este trabalho estão sob investigação características específicas da camada física de diferentes tecnologias para implementação de sistemas de rastreamento de visitantes em ambientes florestais. Conforme mencionado na seção anterior, o sistema proposto adiciona solicitações de resgates ativas no que diz respeito ao visitante, evita-se a necessidade de esperar que ele não seja registrado percepção de vários sensores (DE QUEIROZ et al., 2018).

CONCLUSÃO

Este trabalho propôs um serviço de monitoramento baseado em localizações visitantes se localizam no parque florestal e investigam o uso de novas tecnologias a rede sem fio torna isso possível. LoRa, tecnologia IEEE 802.11g testada e ZigBee na floresta. Em experimentos práticos, são usados transceptores de baixa frequência.

O custo é compatível com microcontroladores Arduino comuns no mercado. Métricas de alcance, intensidade do sinal recebido, perda de pacotes, latência e jitter foram avaliadas. Além de determinar até onde as ondas eletromagnéticas podem viajar espalhado em florestas e ainda detectado, este estudo tenta determinar a distância o valor máximo dos dados pode ser extraído corretamente do sinal.

Comparado a outras tecnologias, o LoRa foi escolhido para alcançar Ad-hoc DTN para troca de dados de localização entre o terminal móvel e o totem. Que seleção baseada em uma faixa significativamente maior de perda de link taxas de pacotes, superando até mesmo as distâncias cobertas pelas três tecnologias.

A latência é alta e o parâmetro não tem muito impacto no aplicativo em consideração. Trabalhos futuros consideram o impacto da disfunção e fluidez. Transceptores que se deslocam em velocidades de até 6 km/h também serão analisados. Em trabalhos futuros foi proposta de estudar RSSI como impressão digital, considerando os totens que emitem balizas com maior poder e alcance.



REFERÊNCIAS

DE QUEIROZ, G. F. C.; FERREIRA, A. E.; ORTIZ, F. M.; DE SOUZA COUTO, R. E COSTA, L. H. M. K. **Posicionamento de pontos de acesso sem-fim para segurança de visitantes em parques florestais.** Em XXXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC), 2018.

FEMERJ. **Metodologia de classificação de trilhas.** In: Report. FEMERJ: No STE2015/01, Federação de Esportes de Montanha do Estado do Rio de Janeiro - FEMERJ. (2015)

FERREIRA, A. E.; ORTIZ, F. M.; COSTA, L. H. M. K. **Avaliação de Tecnologias de Comunicação Sem fio para Monitoramento em Ambientes de Floresta.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS (SBRC), 37- 2019. Gramado. **Anais [...].** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019.

FERREIRA, A. E. L. A. **Análise de Redes Sem Fio para Aplicações de Assistência ao Visitante de Parques Florestais.** Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários a obtém, São do título de Doutor em Engenharia Elétrica. Rio de Janeiro Março de 2020.

GOURSAUD, C. E GORCE, J.M. **Dedicated networks for IoT: PHY/MAC state of the art and challenges.** EAI Endorsed Transactions on Internet of Things, (2015)

MARAIS, J. M.; MALEKIAN, R. E ABU-MAHFOUZ, A. M. **LoRa and LoRaWAN testbeds: A review.** Em IEEE AFRICON, p. 1496–1501. IEEE. (2017)

REYNDERS, B. E POLLIN, S. **Chirp spread spectrum as a modulation technique for long range communication.** Em IEEE Symposium on Communications and Vehicular Technologies (SCVT), p. 1–5. IEEE. (2016)

SOHN, K.; NADALINI, G. **Análise do Impacto de Diferentes Protocolos de Comunicação e Topologias Físicas no Consumo de Energia em Redes de Sensores Sem Fio.** Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo. CURITIBA (2020)

TAHAT, A.; KADDOUM, G.; YOUSEFI, S.; VALAEE, S.; GAGNON, F. **A look at the recent wireless positioning techniques with a focus on algorithms for moving receivers.** IEEE Access, 4:6652–6680. (2016)



CAPÍTULO 31

O USO DO OPENEHR COMO ALTERNATIVA PARA INTEROPERABILIDADE DE DADOS DE REGISTRO ELETRÔNICO EM SAÚDE

Samyr Santos Delfino
Marcos Antonio Dias da Silva

RESUMO

Objetivo: Investigar a utilização do padrão de dados em saúde *OpenEHR* como alternativa para interoperabilidade em Registros Eletrônicos de Saúde. **Método:** Foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura em artigos científicos disponíveis no PUBMED, utilizando como filtro: *(data interoperability) AND (OpenEHR) Filtros: Free full text, from 2019 - 2021*. **Resultados:** Foram encontrados 34 artigos, seis destes foram selecionados. Observou-se um consenso apontando positivamente para a utilização do *OpenEHR*. A abordagem multinível que permite o desenvolvimento de recursos de tecnologia independentes da estrutura da informação clínica foi elencada como um benefício. Os desafios apontavam para a complexidade no desenvolvimento de arquétipos para representar as informações clínicas afetando o acesso e recuperação de informações pelos profissionais da saúde. **Conclusão:** A utilização do padrão *OpenEHR* parece ser uma alternativa viável para interoperabilidade de dados em Registros Eletrônicos de Saúde (RES) em especial pelo fato de ser um padrão aberto e com abordagem multinível, seus benefícios compensam os desafios apresentados.

PALAVRAS-CHAVE: Dados em Saúde, Base de Dados, Dados Padronizados.

INTRODUÇÃO

O volume de dados produzidos por sistemas de informação em saúde (SIS), cresce constantemente. Esses dados estão armazenados de forma isolada, devido a heterogeneidade desses SIS e suas bases de dados, impossibilitando o seu uso, de forma eficiente, pela equipe de saúde (OLIVEIRA; ALMEIDA; QUINTELA, 2013).

A tomada de decisão por parte da equipe de saúde possui como requisito fundamental o uso do maior volume de dados disponíveis. Questões como compartilhamento, acesso e uso de dados de saúde se tornam cada vez mais relevantes no contexto atual em que se buscam respostas mais ágeis e otimização de recursos através do reaproveitamento de dados clínicos. A capacidade de dois ou mais sistemas trocarem dados entre si é chamada interoperabilidade e está associada com o desenvolvimento de um sistema de saúde universal e mais eficiente (HIMSS, 2021).

A interoperabilidade de dados de saúde necessita de instrumentos sintáticos e semânticos, a exemplo dos padrões de dados, que proporcionam um processo de comunicação sem ruídos e sem dubiedade na interpretação (MIRANDA; BENTES, 2015).



Questões relacionadas a padrões de dados em saúde possuem uma natureza complexa devido ao grande número de padrões existentes no mercado. Diante da existência de diversos padrões de dados em saúde surge o desafio em compreender a utilização do padrão *OpenEHR* como alternativa para interoperabilidade em RES.

OpenEHR é um padrão aberto com uma comunidade ativa no desenvolvimento de pesquisas e ferramentas de Tecnologia e é o modelo utilizado como base para construção de outros padrões, a exemplo do CEN/ISO 13606 (BRAGA; LUCENA; JUNIOR, 2016).

No Brasil, a Portaria 2.073 do Ministério da Saúde publicada em 2011, determinou o *OpenEHR* como padrão escolhido para o desenvolvimento e definição de RES no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS) (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011).

O objetivo deste estudo foi investigar a utilização do padrão dos dados em saúde *OpenEHR* como alternativa para interoperabilidade em Registros Eletrônicos de Saúde (RES), destacando os benefícios e desafios nessa utilização.

METODO

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura em artigos publicados no PUBMED utilizando os termos (*data interoperability*) AND (*OpenEHR*) e Filtros: *Free full text, from 2019 – 2021*.

Foram incluídos relatos de experiência com a utilização do padrão *OpenEHR* em contexto de dados em saúde. Dentre os contextos explorados, destacam-se: interoperabilidade de dados em saúde, criação de um repositório de dados estruturados, compartilhamento e recuperação de dados em saúde, criação de conhecimento e proteção de dados pessoais com base na GDPR.

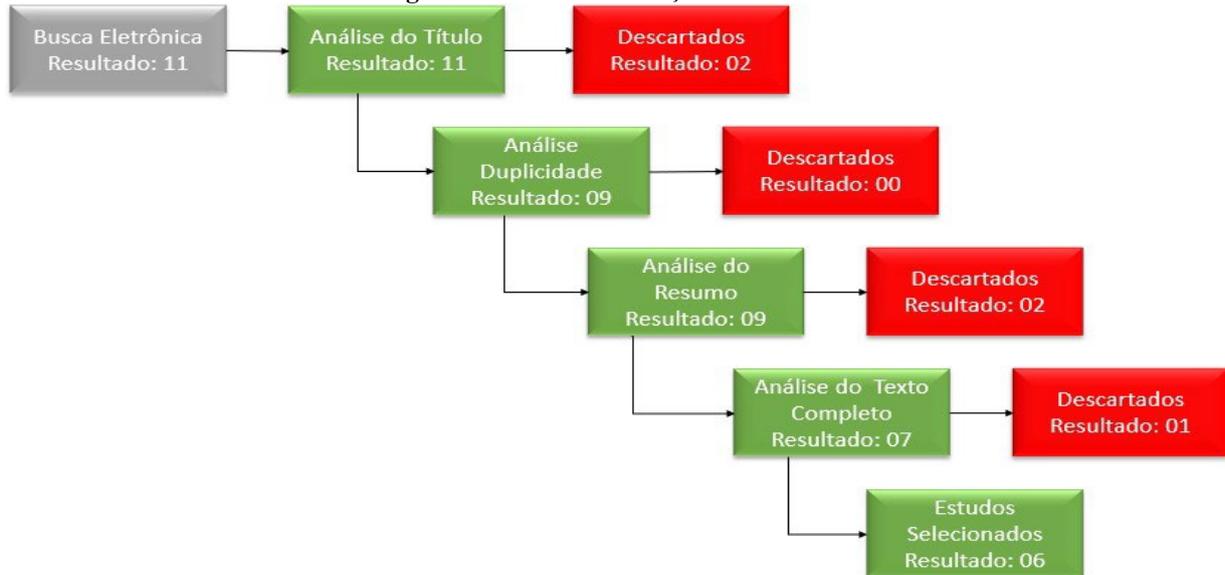
Foram excluídos resumos e artigos que após a leitura do texto completo foram considerados fora do perfil buscado.

RESULTADOS

Como resultado da pesquisa realizada na base PUBMED Foram identificados inicialmente 34 estudos, dos quais 11 permaneceram após a filtragem inicial. Ao aplicar os critérios de inclusão e exclusão (análise de título, resumos e texto completo) foram selecionados seis estudos (Figura 1).



Figura 1: Processo de seleção dos estudos.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Com o objetivo de agrupar as informações identificadas no processo de seleção dos estudos, foi criado um quadro com título, objetivo, benefícios e desafios de cada estudo (Quadro 1).

Tabela 1 : Artigos localizados na base de dados PUBMED (2019-2021).

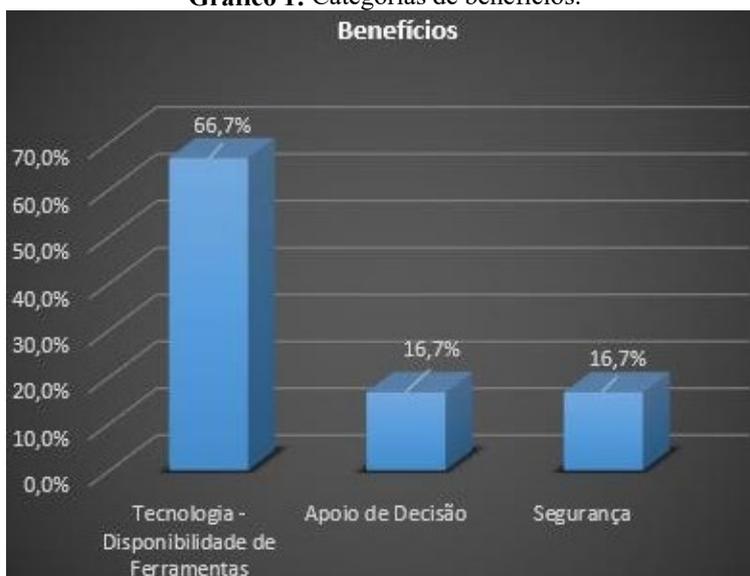
Referência	Objetivo	OpenEHR	
		Benefícios	Desafios
WULFF et al., 2020	Extraír automaticamente informações cruciais de textos médicos gratuitos e transformar esses dados clínicos não estruturados em estruturados.	Padrão de dados em saúde aberto interoperabilidade de dados estruturados.	Dificuldade para garantir a recuperação, uso e compartilhamento de dados não estruturados, como documentos físicos digitalizados
LI et al., 2020	Desenvolver um modelo de dados compartilhados baseado no <i>OpenEHR</i> para melhorar a interoperabilidade de sistemas.	Suportado por muitos pacotes de software aberto compartilhamento de informações interoperabilidade.	A natureza heterogênea dos sistemas de hospitalares dificultam a interoperabilidade de dados.
YANG e HUANG, 2019	Desenvolver um método de recuperação para identificar CIMs online para representar dados com <i>OpenEHR</i> .	Fornece a base tecnológica para interoperabilidade técnica através da modelagem multinível.	Carência de soluções para o desenvolvimento baseado em registros <i>OpenEHR</i> de clínicos
WEI, ATALAG e DIA, 2019	Explorar o processo que possibilitou a agregação do conhecimento tácito de especialistas do domínio de forma explícita usando a plataforma Clinical Knowledge Manager e ativos associados.	Melhora da documentação clínica suporte automatizado à decisão apoiar em pesquisas e na formulação de políticas.	Desenvolvimento de arquétipos é complexo, inúmeros aspectos que determinam o sucesso da interoperabilidade.
TUTE, SCHEFFNER e MARSCHOLLE K, 2021	Apresentar um método de avaliação de qualidade de dados interoperáveis para apoio a governança colaborativa	Fornece definições para blocos de construção básicos possibilitando a construção de modelos complexos de informações clínicas.	Dificuldade na interoperabilidade de dados de saúde estruturados em outros padrões, a exemplo ISO/IEC 11179 ou HL7 FHIR,
GONÇALVES, 2019	Compreender em que medida o padrão <i>OpenEHR</i> pode auxiliar na conformidade dos sistemas EHR aos requisitos do GDPR.	Contempla segurança multi multinível, separa as informações clínicas das demográficas, camada de serviços controle de versões e de acesso audibilidade	Contempla apenas 30% dos requisitos exigidos para proteção de dados pessoais definidos pela GDPR.

Fonte: Autoria própria, 2021.



Entre os estudos analisados foi possível identificar, além de um consenso referente ao êxito na utilização do *OpenEHR* para interoperabilidade de dados, a tecnologia/disponibilidade de ferramentas como o principal benefício e sua interoperabilidade de dados não estruturados como o maior desafio desse padrão (Wulff et al. (2020); Li et al. (2020); Yang e Huang (2019); Wei, Atalag e Dia (2019); Tute, Scheffner e Marschllek (2021) e, Gonçalves (2019)). Esses itens foram agrupados em categorias de benefícios (gráfico 1) e desafios (gráfico 2).

Gráfico 1: Categorias de benefícios.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Gráfico 2: Categorias de desafios.



Fonte: Autoria própria, 2021

Nos benefícios identificados, itens relacionados à tecnologia (disponibilidade de ferramentas) receberam maior destaque (66,7%) (Li et al., 2020; Yang e Huang, 2019; Tute, Scheffner e Marschllek 2021; Gonçalves, 2019). Ainda referente a esse benefício destaca-se a possibilidade de desenvolvimento de itens de tecnologia independentes da estrutura das



informações clínicas.

Dentro os desafios atenção foi dada para a complexidade na implementação do padrão OpenEHR em cenários de interoperabilidade (50%) (Li et al., 2020; Tute, Scheffner e Marschllek, 2021; Wei, Atalag e Dia, 2019) e para questões técnicas de interoperabilidade (33%) (Wulff et al., 2020 e Yang e Huang, 2019).

O desenvolvimento de arquétipos de informações para o padrão OpenEHR foi apontado como sendo o item de maior complexidade, também influenciado pela incompatibilidade desse padrão com outros padrões disponíveis no mercado.

DISCUSSÃO

O levantamento realizado evidenciou o êxito na utilização do OpenEHR como alternativa para a interoperabilidade de dados em saúde. O OpenEHR é um padrão aberto que atende a arquitetura de RES com abordagem multinível (PAHL et al, 2015) estruturado em camadas separadas de infraestrutura e conhecimento clínico (Martínez e Schulz, 2014).

No presente estudo observou-se principalmente vantagens relacionadas à tecnologia. Acredita-se que isso se deva ao fato da Interface de programação de aplicações OpenEHR REST API servir como “ponte” para o compartilhamento de dados entre sistemas que trabalhem com o padrão OpenEHR e a Archetype Query Language (AQL) por ser uma linguagem de consulta declarativa específica para pesquisar e recuperar os dados baseados em arquétipo (OPENEHR, 2020). Pesa também a favor do entendimento de questões tecnológicas como benefício o fato do padrão OpenEHR tratar de forma separada dados clínicos e dados técnicos. Corroborar esse entendimento o estudo em que Frexia et al., (2021) destacam que apenas as estruturas do modelo são implementadas em software, desvinculando dessa implantação a heterogeneidade e variabilidade dos dados em saúde, diminuindo a complexidade do processo.

Como já relatado em por Braga, Lucena e Junior (2016), identificou-se, no presente estudo, a percepção de que a complexidade no desenvolvimento de arquétipos para capturar dados de pacientes e possibilitar sua interoperabilidade e reutilização, como o desafio principal.

Salienta-se que o grande interesse da interoperabilidade é alcançar o nível semântico (Cevarolo et al., 2018) e que a diversidade de dados clínicos é um desafio complexo para utilização do OpenEHR como padrão de interoperabilidade de dados em saúde.

Ainda referente aos desafios, segundo Tute, Scheffner e Marschollek (2021), a não compatibilidade na implementação e/ou utilização do padrão OpenEHR em cenários que



trabalham com outros padrões de dados em saúde, como por exemplo o ISO/IEC 11179 e HL7 FHIR potencializa a dificuldade de viabilizar a interoperabilidade.

Entende-se como limitações desse estudo o limitado número de artigos enquadrados nos critérios estabelecidos. Acredita-se que com a ampliação e o maior compartilhamento de experiências de uso do padrão OpenEHR em fontes científicas novas soluções possam ser difundidas atenuando impacto advindo de sua implementação e que o conhecimento adquirido com esses estudos favorece é fundamental para o design de estudos futuros (Wulff et al., 2020, Li et al., 2020; Yang et al., 2019; Martínez et al., 2014; Pahl et al. 2015).

CONCLUSÃO

A utilização do padrão OpenEHR como alternativa para interoperabilidade de dados em RES se mostrou viável, em especial pelo fato de ser um padrão aberto e com abordagem multinível. Além disso, mesmo sendo descrito como uma atividade complexa, o desenvolvimento de arquétipos não se torna um impeditivo para a utilização OpenEHR em contextos de interoperabilidade de dados.

REFERÊNCIAS

BEALE, T; CRUZ, C. R. *OpenEHR* e Regulamento Geral de Proteção de Dados: Avaliação de Princípios e Requisitos. **JMIR Med Inform.** 25 de março de 2019.

BRAGA, D. R; LUCENA, N. F; JUNIOR, L. P. Registro Eletrônico em Saúde Interoperável: os desafios do padrão *OpenEHR*. **J. Health Inform.** 2016 julho-setembro; 8(3): 103-9.

CERAVOLO, P. *et al.* Semântica de Big Data. **J Data Semant.** 2018; 7 (2): 65-85.

DETSCHER, V; SUPRIYANTO, E; IBRAHIM, O. Role of *OpenEHR* as an open source solution for the regional modelling of patient data in obstetrics. **J Biomed Inform.** [Internet]. 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25900270>. Acesso em: 25 de jun. de 2021.

FREXIA, F; *et al.* OpenEHR is FAIR-Enabling by Design. **European Federation for Medical Informatics (EFMI)** and IOS Press. 2021

GONÇALVES, F. D; SOUSA, M; BACELAR, S. G. M; FRADE, S; ANTUNES, L. F;

I. HIMSS HEALTHCARE INFORMATION AND MANAGEMENT SYSTEMS SOCIETY (2021) [HTTPS://WWW.HIMSS.ORG/MEMBERSHIP-PARTICIPATION/HIMSS-INTEROPERABILITY-HIE-COMMUNITY](https://www.himss.org/membership-participation/himss-interoperability-hie-community). ACESSO EM: 25 DE JUN. DE 2021.

LI, M; LESLIE, H; *et al.* Development of an *OpenEHR* Template for COVID-19 Based on Clinical Guidelines. **J Med InternetRes.** 10 de junho de 2020.



MARTÍNEZ, C. C; SCHULZ, S. Ontology content patterns as bridge for the semantic representation of clinical information. **Appl Clin Inform.** 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25298807> Acesso em: 16 out. 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (BR). **Portaria nº 2.073**, de 31 de agosto de 2011. Regulamenta o uso de padrões de interoperabilidade e informação em saúde para sistemas de informação em saúde no âmbito do Sistema Único de Saúde, nos níveis Municipal, Distrital, Estadual e Federal, e para os sistemas privados e do setor de saúde suplementar Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2073_31_08_2011.html. Acesso em: 16 out. 2021.

MIRANDA, N. J. O. de; BENTES, P. V. Prontuário eletrônico do paciente: padronização e interoperabilidade. **XVI Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação (XVI ENANCIB)** ISSN 2177-3688. 2015. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/19187> Acesso em: 15 ago.2021.

OLIVEIRA, J. P; ALMEIDA, M. B; QUINTELA, E. L. Uma visão geral sobre fontes de informação em saúde. In: **I Congresso ISKO Espanha e Portugal/XI Congresso ISKO Espanha.** 2013. p. 993-1008. Disponível em: http://mba.eci.ufmg.br/downloads/isko_fontes.pdf Acesso em: 11 ago. 2021.

OPENEHR. **OpenEHR Archetype Query Language (AQL).** 2020. Disponível em: https://specifications-OpenEHR.org.translate.google/releases/QUERY/latest/AQL.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=ptBR&_x_tr_pto=nui,sc#_what_is_aql. Acesso em: 14 out. 2021.

PAHL, C; *et al.* O. Role of OpenEHR as an open source solution for the regional modelling of patient data in obstetrics. **J Biomed Inform.** 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25900270> Acesso em: 25 jul. 2021.

TUTE, E; SCHEFFNER, I; MARSCHOLLEK, M. A method for interoperable knowledgebase data quality assessment. **BMC Med Inform Decis Mak.** 9 de março de 2021.

YANG, L; HUANG, X; LI, J. Discovering Clinical Information Models Online to Promote Interoperability of Electronic Health Records: A Feasibility Study of *OpenEHR*. **J Med Internet Res.** 28 de maio de 2019.

WEI, P. C; ATALAG, K; DIA, K. An *OpenEHR* Approach to Detailed Clinical Model Development: Tobacco Smoking Summary Archetype as da Case Study. **Appl Clin Inform.** março de 2019.

WULFF, A; MAST, M; HASSLER, M; MONTAG, S; MARSCHOLLEK, M; JACK, T. Designing an *OpenEHR*-Based Pipeline for Extracting and Standardizing Unstructured Clinical Data Using Natural Language Processing. **Methods Inf Med.** dezembro de 2020.



CAPÍTULO 32

A IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E TECNOLOGIA DE RASTREABILIDADE APLICADOS A MADEIRA PARA A SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Camila Stephanie Fernandes Linhares
Suzana Arleno Souza Santos

RESUMO

Os ensaios não destrutivos e a tecnologia de rastreabilidade são bem aceitos para avaliar, caracterizar e monitorizar a madeira. Contudo, é necessário compreender melhor a importância do uso da madeira associado com a sustentabilidade na construção civil. A madeira é considerada um material pertencente a classe sustentável, pois geralmente é biodegradável e renovável, além de possuir grande impacto no sequestro de carbono. Os fatores primordiais para qualificar a madeira são as imperfeições naturais, equilíbrio nas dimensões, resistência mecânica, quantidade de água e o diagnóstico das condições internas. Nesse contexto, as ferramentas não destrutivas possibilitam realizar a avaliação da qualidade da madeira de forma não invasiva a fim de conservar as propriedades do material e não comprometer suas características. Sendo assim, o objetivo desse capítulo é abordar as principais técnicas não destrutivas e o enquadramento da madeira no âmbito da sustentabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: tomografia acústica; MTG; resistógrafo; rastreabilidade; sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O Planeta que habitamos enfrenta um desafio no ecossistema por falta de planejamento ou resoluções por parte da sociedade humana. É de suma importância que os insumos utilizados na construção civil sejam aprimorados e que inovações sejam incorporadas para o emprego destes, no âmbito da sustentabilidade.

A história mostra que as metodologias de uso e a utilização da madeira foram evoluindo em diversas partes do planeta, resultando numa grande diversidade de artigos e de sistemas fomentadores. Em países como Canadá, Japão, Austrália, Estados Unidos, e em alguns países europeus, a madeira é fundamental no setor de construção das edificações habitacionais. Devido às suas peculiaridades de produto renovável, que funciona como armazenamento de carbono, além de inovações tecnológicas (YOUNGS, 2009).

No ano de 1994, o Conselho Internacional da Construção (CIB), conceituou construção sustentável como “a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e no projeto baseado em princípios ecológicos”



(KIBERT, 1994). Neste mesmo ano o CIB denominou sete fundamentos para a Construção Sustentável, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Os Princípios da Construção Sustentável.

1 — Redução do consumo de recursos
2 — Reutilização de recursos
3 — Utilização de recursos recicláveis
4 — Proteção da natureza
5 — Eliminação de tóxicos
6 — Aplicação de análises de ciclo de vida em termos econômicos
7 — Ênfase na qualidade

Fonte: (KIBERT, 1994).

As matérias-primas empregadas em obras são muito importantes no contexto da construção sustentável, pois é necessário saber desde início quais as consequências ambientais serão causadas devido à retirada destes insumos para a produção (BALDO,2002); (SETAC, 2009),

A madeira é um material excelente para ser adotado para edificações sustentáveis, embora possua menor resistência à degradação biológica, em relação aos outros materiais empregados nesta mesma área (CAPITILLO, 2010). As madeiras maciças são classificadas geralmente em duas categorias: as provenientes de espécies resinosas (Pinheiro, Abeto, Cedro) e as folhosas (Carvalho, Castanheiro, Eucalipto) estas possuem estruturas mais complicadas e dissemelhantes que as resinosas. Os fatores primordiais para a qualificar a madeira são as imperfeições naturais, equilíbrio nas dimensões, resistência mecânica e quantidade de água.

Se a Holanda construísse casas utilizando madeira haveria redução de cerca de 50% de emissões de carbono neste país. Se a madeira for proveniente de florestas certificadas, pode-se afirmar que a volta de um insumo que era vital para a construção civil e perdeu mercado para o concreto e o aço, pode ser visto com positividade constatando pela perspectiva ambiental. As vantagens estão bem explícitas no empenho que a sociedade científica tem feito para investigar os potenciais do Pinho-bravo em aplicações estruturais (GERRILHA, 2007).

A madeira de Pinho-bravo pode ser reaproveitada, utilizada no setor de construção civil através de painéis de matriz cimentícia que possui fibras de madeira. Materiais compósitos a base de cimento e fibras vegetais são empregadas em Portugal há um certo tempo. Outra forma



também é a utilização destas fibras para substituir as armaduras de aço empregada no betão armado (GOMES,2007).

O Brasil possui uma grande região florestal, cerca de 54% do seu território, entretanto, não existe a cultura na utilização da madeira como material da área de construção civil. A região Sul é uma exceção a regra, devido a sua colonização principalmente por alemães e italianos, cujos países possuíam tradição na construção com madeira (ZANI, 2013). Todavia, ao decurso das décadas, esta região deixou de empregar este insumo e substituiu por alvenaria.

CICLO DE VIDA DAS CONSTRUÇÕES E OS SEUS IMPACTES AMBIENTAIS

As práticas associadas à produção de ambientes sustentáveis, infraestruturas e prédios, assim como os propósitos ambientais, mudam conforme as tipografias e ao decorrer do seu ciclo de vida. Este inicia-se desde a elaboração e continua até a sua finalização.

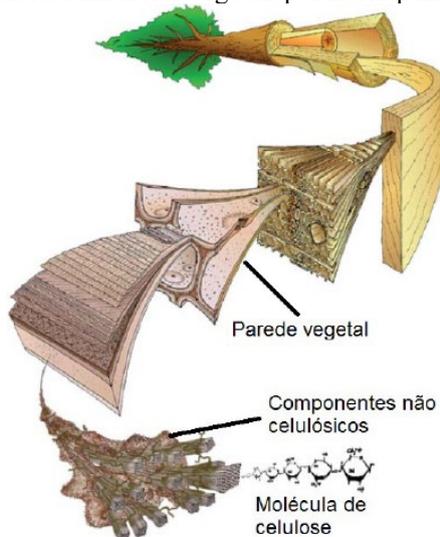
Para se realizar uma construção com sustentabilidade são necessários: poupar energia elétrica e água, avaliar se existe salubridade e ampliar a vida útil das edificações, planejar a manutenção e a preservação dos prédios, empregar materiais eco-eficientes, expor menor quantidade de materiais para a construção civil e reduzir a produção de resíduos,

Os materiais utilizados na construção devem obedecer a algumas normas para serem classificados com sustentáveis entre eles, mostrarem baixos custos energéticos, sociais, ambientais e econômicos; eles devem vir de fontes renováveis, que não poluem e que não são nocivos ao meio ambiente nem ao ser humano; terem uma alta vida útil, possibilidade de reciclagem ou reutilização (TORGAL, 2007).

A madeira é considerada um material pertencente a classe sustentável, ou seja, pois geralmente é biodegradável e renovável. Além das árvores, sendo as fornecedoras da madeira serem consumidoras de dióxido de carbono e libertadoras de oxigênio (MARQUES, 2008). A figura 2 demonstra a estrutura da madeira, parede vegetal, microfibrilas, componentes não celulósicos e celulose, como está apresenta uma matriz básica de celulose é denominada material lignocelulósico.



Figura 2: Celulose nas fibras vegetais por hierarquização da madeira.



Fonte: Adaptado de Eichhorn, 2011).

ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DA MADEIRA

Para avaliar se a madeira está apta para ser utilizada em edificações é necessária uma inspeção visual e alguns ensaios mecânicos, para quantificar a sua resistência mecânica entre outras variáveis vitais para classificar o seu desempenho e onde será empregada.

Por volta de 1900 as propriedades mecânicas da madeira e o tratamento dos dados começaram a ser analisados, as primeiras pesquisas foram iniciadas por meio do ensaio de flexão para mensurar a resistência da madeira e a sua rigidez. A partir destes procedimentos a indústria do setor de madeira ficou mais moderna e foi necessário torna-se ágil, pois a avaliação das propriedades da madeira foi ampliada. Devido a isso, os mecanismos não destrutivos foram elaborados para a preservação do provete e foi necessário conjecturar as possíveis incertezas ao realizar as medidas (HANHIJÄRVI et al, 2005). As experimentações não destrutivas são baseadas na estimativa e mensuração de propriedades, por exemplo, inspeção visual (tamanho dos nós), humidade, declive do grão, frequência natural e densidade (ROSS, 1996) (DENZLER, 2007).

Para estas estimativas são necessárias fórmulas ou software para calcular a resistência da madeira. Entretanto, algumas pesquisas são realizadas para estipular o coeficiente de determinação entre a metodologia não destrutiva e destrutiva (DIVOS, 2005). As várias categorias de madeira macia (MIŠEIKYTE E BALTRUŠAITIS, 2009) e madeira dura (BALTRUŠAITIS, 2009) são usadas em averiguações. Segundo relatos existe uma excelente correspondência entre os métodos destrutivos e não destrutivos.



O método mais simples e econômico para a identificação da deterioração e defeitos da madeira é a análise visual, pois permite inspeção e observação de sinais de problemas potenciais ou já existentes, tais como danos mecânicos, presença de humidade e indícios de presença de cupins. Entretanto, a inspeção visual nem sempre permite detectar tais condições, principalmente quando em fase inicial.

RESISTÓGRAFO

O resistógrafo é outro processo para detectar defeitos e quantificar a degradação interna da madeira. Quando associado a uma análise visual e ao ultrassom, permite uma verificação mais precisa dos processos de biodegradação (LINHARES et al.,2021)

A medição da resistência à perfuração é um ensaio não destrutivo e é possível ser aferido pela variação do torque necessário para a broca avançar no material de análise. A broca precisa ser muito fina para captar as variações na resistência do material à perfuração e não causar danos ao material, mas, por outro lado, não pode ser tão fina a ponto de sofrer ressonância ou flambagem (TANNERT et. al. 2013).

O método evoluiu consideravelmente desde que a ideia foi introduzida na década de 1970 e tem sido amplamente utilizado em inspeções e estruturas de árvores desde 1988 (RINN, 2012) conforme a figura 3. O teste tem sido usado por muitos pesquisadores para identificar áreas deterioradas em estruturas de madeira (TANNERT ET.AL.2013; RINN 2012), toras ou árvores (KUBUS,2009; JOHNSTONE,2007; WANG,2008; WANG,2009). À medida que a broca se move pela madeira num caminho linear, a resistência à penetração ao longo do seu caminho é medida e registrada, espera-se que esse resultado possa ser correlacionado com perdas de resistência por deterioração e complementar os dados obtidos por ultrassom e análise visual.

Figura 3: Uso do Resistógrafo em elemento arbóreo.



Fonte: (<https://www.agriexpo.online/pt/prod/rinntech/product-182572-64782.html>)



MACHINE TIMBER GRADER (MTG)

O equipamento BrookHuis Micro Timber Grader (MTG) é um aparelho portátil que utiliza o método de vibração longitudinal por ondas de tensão para obtenção do módulo de elasticidade dinâmico da madeira. Através de um software interno, com a seleção da espécie ensaiada, o MTG estima os valores do módulo de elasticidade à 12% de umidade.

O módulo de elasticidade dinâmico (E_d) é obtido por meio da frequência natural que é a premissa da formulação utilizada pelo MTG. Este dispositivo faz uma correção para alterar o módulo de elasticidade adquirido, conforme o gênero do corpo de prova ensaiado.

Antes de iniciar o ensaio é necessário colocar todas as peculiaridades do elemento no software do MTG, depois realizar o ensaio físico no provete e assim obter os resultados para a classificação mecânica da madeira. A maior vantagem deste equipamento, é as medidas serem realizadas, sem a necessidade de romper a madeira, basta apoiá-lo e seguir os procedimentos padronizados para não terem erros ao obter os parâmetros, para o cálculo do módulo de elasticidade (ROZEMA, 2013).

Figura 4: MTG.



Fonte: Brookhuis MTG Timber Grader.

RASTREABILIDADE NA MADEIRA POR RFID (RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION)

Outra tecnologia que pode ser empregue para fomentar a sustentabilidade na madeira é a rastreabilidade por rádio frequência (RFID).

O conceito de RFID consiste na tecnologia de identificação automática, sem necessitar de fios condutores, pois utiliza sinais de rádio para a identificação, compartilhamento e armazenamento de dados de determinado tópico remotamente. Possui similaridades com a



tecnologia do código de barras que é a identificação instantânea de objetos, basicamente funciona com um leitor (Reader) que lê uma etiqueta eletrônica (tag) embutida num produto. Este procedimento opera com ondas eletromagnéticas para detectar objetos (<https://www.barcoding.com>)

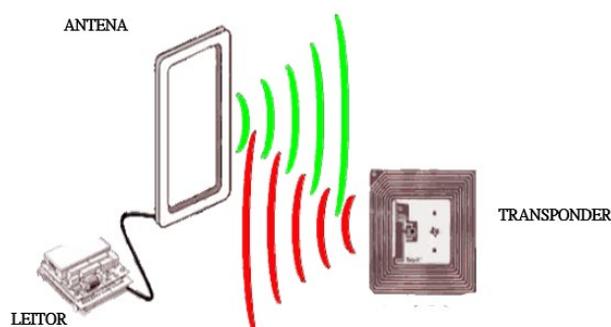
A tecnologia baseada em RFID viabiliza a obtenção da informação de todas as fases do produto. As informações inclusas na tag podem ser sobre a origem, dia da fabricação, metodologia empregada para produzir, geometria, produtor, rota, entre outros, propiciando uma maior confiabilidade na empresa. Os componentes RFID temporalmente vêm reduzindo bastante os seus custos e ampliando as suas possibilidades de operação (BHATTACHARYA, 2007).

A importância da implementação, de um sistema de rastreabilidade na indústria madeireira é devido o processo incluir minúcias sobre as espécies, volumes, data de fabricação, peculiaridades da matéria-prima, entre outras informações. Com isto pode-se elaborar correlações entre a produção delineada e os resultados alcançados. Baseados nestas informações pode-se ajustar melhor o planejamento das práticas desenvolvidas e acertar os inventários (LEMASSON, 2016).

As tags (etiquetas) formam o componente que possui as informações para identificar o objeto. Apesar da variedade das etiquetas, elas são constituídas basicamente por quatro elementos: antena, seção de radiofrequência (RF), uma seção digital e unidade de memória.

Quando a antena obtém o sinal, a seção de RF decodifica este que será transformado para o padrão digital pelo conversor analógico-digital (DAC). Logo depois o microcontrolador trata o sinal e produz uma indicação de resposta. Essa resposta será criptografada (criptografia), o sinal resultante será transformado em sinal analógico (DAC), modulado e remetido para o leitor, conforme a figura 5 (NAJAFI, 2010).

Figura 5: Diagrama representativo da interação Antena- Transponder- Leitor.



Fonte: (www.animalmigration.org/RFID/index.htm).



TOMOGRAFIA ACÚSTICA

A tomografia acústica é uma das técnicas mais efetivas para a detecção, a localização e a estimativa da dimensão e da forma de defeitos internos (LIN et al 2011). Esse método é eficiente porque a propagação de ondas é afetada por materiais com diferentes características estruturais ou por defeitos decorrentes de condições que alterem a estrutura dos elementos da madeira.

No caso do ultrassom, segundo BUCUR (2005) a propagação de ondas é afetada pela presença de materiais com diferentes características de impedância acústica como, por exemplo, defeitos induzidos por irregularidades de diferentes padrões de crescimento natural (desvio de grãos, nós, bolsas de resina, etc) e anomalias provocadas por ataques de xilófagos, fungos e cupins, gerando diferenças no material e conseqüente variação na velocidade de propagação da onda e na amplitude do sinal emitido.

Contraopondo-se a inúmeras vantagens apresentadas pela madeira e os seus derivados, determinantes para a sua ampla utilização, existe a biodeterioração, pois, a madeira é um material de origem orgânica e como tal está sujeita à deterioração por agentes bióticos (fungos, insetos e brocas marinhas).

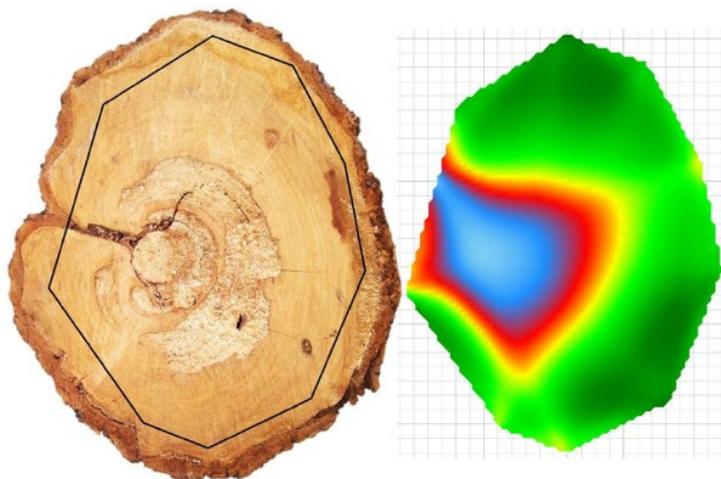
Os organismos biodeterioradores apresentam características morfológicas, fisiológicas e comportamentais especiais que os tornam capazes de utilizar a madeira como substrato, abrigo e alimento.

Resultados de pesquisas vêm demonstrando que a tomografia acústica tem sensibilidade para detectar zonas internas de árvores deterioradas por fungos (WANG E ALLISON 2008, DEFLORIO et al. 2008; KIM et al. 2007; ALLISON et al. 2007, WANG et al. 2007).

OSTROVSKÝ et al. 2017 também destacam a importância de ferramentas, como a tomografia, para a localização de zonas mais fragilizadas no tronco. No entanto, tomografia acústica não é um mapa espacialmente preciso da estrutura interna, e sim uma representação das características acústicas da madeira obtidas a partir de ensaios de propagação da onda (ALLISON E WANG, 2015).



Figura 6: Exemplo de imagem obtida através da tomografia acústica.



Fonte: (OSTROVSKÝ *et al.*, 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos estudos citados e equipamentos, verifica-se a importância e eficiência dos métodos de ensaios não destrutivos, pois não se danifica a matéria-prima, torna a construção mais sustentável e os dados recolhidos para o cálculo dos parâmetros são confiáveis. As combinações de todas as metodologias implicam num hábito mais voltado para a utilização e aproveitamento máximo dos recursos, desperdiçando o mínimo possível dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

- ALLISON, R.B.; WANG, X.; ROSS, R.J. Visual e nondestructive evaluation of red pine supporting a ropes course in the USFS Nesbit Lake Camp, Sidnaw, Michigan. In: International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, 15. Duluth, Minnesota, USA., v.1, p. 43-48, 2007.
- ALLISON, R.B.; WANG, X. Chapter 7: Nondestructive Testing in the Urban Forest. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report, FPL-GTR-238, 2015, p. 77-86, 2015.
- BALDO, G.; ROLLINO, S.; STIMMEDER, G.; FIESCHI, M. The use of LCA to develop ecolabel criteria for hard floor coverings on behalf of the European flower. International Journal of Life Cycle Assessment Vol.7, pp. 269-275, 2002.
- BALTRUŠAITIS, A.; LAURINAVIČIUS, A.; UKVALBERGIENĖ, K.; PRANCKEVIČIENĖ, V.; MINELGA, D. Acoustic and elastic properties of modified oak wood. Materials science. Kaunas University of Technology, Academy of Sciences of Lithuania. Kaunas: Technologija 15(4): 316-320. (ISI Web of Science), 2009.



BHATTACHARYA, M.; CHU, C.H.; MULLEN, T. RFID Implementation in Retail Industry: Current Status, Issues, and Challenges. Accepted to Decision Science Institute (DSI) Conference, Phoenix AZ, 2007.

BUCUR, V. Ultrasonic techniques for nondestructive testing of standing trees. *Ultrasonics*, 43:237-239, 2005.

CAPETILLO, A.; OLIVEIRA, C.; REAES PINTO, A. A “Declaração Ambiental de produto” como factor de sustentabilidade na construção. Congresso de Inovação na Construção Sustentável CINCOs'10. ISBN 978-989-95978-1-5, Centro Habitat, Cúria, Portugal, pp.613-623, 2010.

DEFLORIO, G.; FINK, S.; SCHWARZE, F.W. Detection of incipient decay in tree stems with sonic tomography after wounding and fungal inoculation. *Wood Science Technology*. 42:117-132, 2008.

DENZLER, J. K. Machine strength grading – an overview over existing machines. COST Action E53 "Quality Control for Wood and Wood Products". Working Group 3. Meeting 14-15th May 2007, Hamburg, Germany, 26 pp, 2007.

DIVOS, F.; TANAKA, T. Relation between static and dynamic modulus of elasticity of wood. *Acta Silv. Lign. Hung.* 1: 105-111, 2005.

EICHHORN, S. J. Cellulose Nanowhiskers: Promising Materials for Advanced Applications. *Soft Matter*, v. 7, n. 2, p. 303-315, 2011.

GERRILLA, G.; TEKNOMO, K.; HOKAO, K. An environmental assessment of wood and steel reinforced concrete housing construction. *Building and Environment* Vol.42, pp.2778-2784, 2007.

GOMES, J.; RODRIGUES, A. Analise do ciclo de vida de caixilharias. Um estudo comparativo. Congresso da Construção 3º Congresso Nacional, Coimbra, Portugal, 2007.

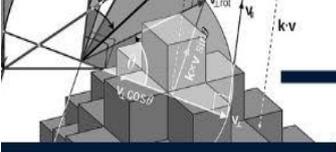
HANHIJÄRVI, A.; RANTA-MAUNUS, A.; TURK, G. Potential of strength Grading of timber with combined measurement techniques. Report of the Combigrade – project – phase 1, VTT Technical Research Centre of Finland, 82 pp, 2005.

JOHNSTONE, D.; ADES, P.K.; MOORE, G.M.; SMITH, I.W. Predicting wood decay in eucalypts using an expert system and the IMLRESISTOGRAPH® drill. *Arboriculture & Urban Forestry* 33(2):76–82, 2007.

KIBERT, C. J. Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction, Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction of CIB TG 16. pp. 1 - 917. Center for Construction and Environment, University of Florida, Tampa, Florida, 1994.

KIM, K.; PARD, J.; LEE, S.; YEO, H.; LEE, J. Development of a portable ultrasonic computed tomography system for detecting decay in wood. In: International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, pp. 191-195, 2007.

KUBUS, M. The Evaluation of Using Resistograph when Specifying the Health Condition of a Monumental Tree. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 37.1: 157-164, 2009.



LIN, C.J.; CHANG, T.T.; JUAN, M.Y.; LIN, T.T. Detecting deterioration in royal palm (*Roystonea regia*) using ultrasonic tomographic and resistance microdrilling techniques. *Journal of Tropical Forest Science*, 260-270, 2011.

LINHARES, C. S. F.; GONÇALVES, R.; MARTINS, L. M.; KNAPIC, S. Structural Stability of Urban Trees Using Visual and Instrumental Techniques: A Review. *Forests*, 12(12), 1752, 2021.

MARQUES, L.E.M.M. O Papel da Madeira na Sustentabilidade da Construção - Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil — Especialização em Construções Civil – Faculdade de Engenharia- Universidade do Porto, 2008.

MIŠEIKYTĖ, S.; BALTRUŠAITIS, A. Timber elements strength-stiffness effects on the performance of glued laminated beams. *Proceedings of the 5th meeting of the Nordic Baltic Network in Wood Material Science and Engineering (WSE)*. Copenhagen, Denmark. Ed. by A. Bergstedt. Copenhagen: Faculty of Life Sciences, University of Copenhagen. Pp 161-167, 2009.

NAJAFI, V.; MOHAMMADI, S.; ROOSTAIE, V.; FOTOWAT-AHMADY, A. A dual mode UHF EPC Gen 2 RFID tag in 0.18 μm CMOS. *Microelectronics journal*, 41(8), 458-464, 2010.

OSTROVSKÝ, R.; KOBZA, M.; GAŽO, J. Extensively damaged trees tested with acoustic tomography considering tree stability in urban greenery. *Trees*, 31(3), 1015-1023, 2017.

RINN F. Basics of micro Resistance-Drilling for Timber Inspection. *Holztechnologie* 53:24–29, 2012.

ROSS, R.J.; MCDONALD, K.A.; GREEN, D.W.; SHAD, K.C. Relationship between log and lumber modulus of elasticity. *Forest Products Journal* 47(2): 89–92, 1996.

ROZEMA, P. Timber Grader MTG.- Brookhuis Micro-Eletronics BV. The Netherlands, 2007.

SETAC. Society of Environmental Toxicology and Chemistry – Guidelines for Life-Cycle Assessment: A code of Practice, Bruxelas, Bélgica, 1993.

TANNERT, T.; ANTHONY, R.W.; KASAL, B.; KLOIBER, M.; PIAZZA, M.; RIGGIO, M.; RINN, F.; WIDMAN, R.; YAMAGUCHI, N. In situ assessment of structural timber using semi-destructive techniques. *Materials and Structures*, 2013.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. Congresso Construção 2007 - 3.º Congresso Nacional 17 a 19 de dezembro, Coimbra, Portugal Universidade de Coimbra, 2007.

WANG, X.; CARTER, O.; ROSS, R.J.; BRASHAW, B.K. Acoustics assessment of wood quality of ray forest materials. *Forest Products Journal*, 57(5), 6-14, 2007.

WANG, X.; ALLISON, R.B. Decay detection in red oak trees using a combination of visual inspection, acoustic testing, and resistance micro drilling. *J Arboric Urban For* 34 (1):1 – 4, 2008.

WANG, X.; WIEDENBECK, J.; LIANG, S. Acoustic tomography for decay detection in black cherry trees. *Wood and Fiber Science* 41(2): 127-137, 2009.



YOUNGS, R. L. Forests and forest plants – Vol. II - History, Nature, and Products of wood. EOLSS Publications, 2009.

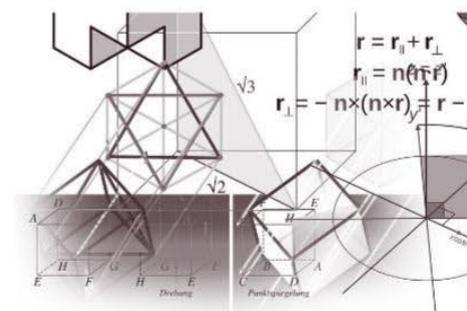
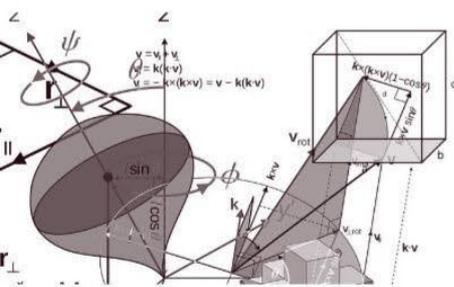
ZANI, A. C. Arquitetura em madeira [livro eletrônico] – Londrina: Eduel, 2013. www.barcoding.com/blog/business_area/rfid (06/07/21)I

www.editorapublicar.com.br
contato@editorapublicar.com.br
@epublicar
facebook.com.br/epublicar

Práticas e pesquisas aplicadas em

Ciências exatas

Adilson Tadeu Basquerote Silva
Érica de Melo Azevedo
Roger Goulart Mello
Organizadores



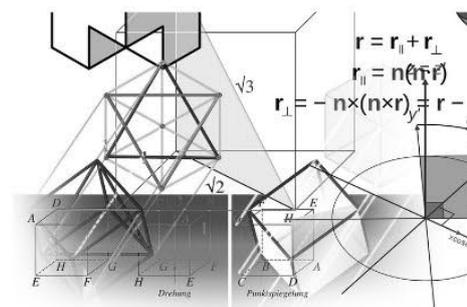
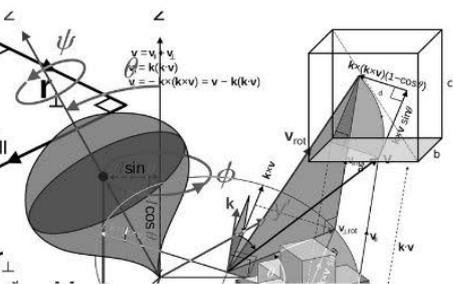
2022

www.editorapublicar.com.br
contato@editorapublicar.com.br
@epublicar
facebook.com.br/epublicar

Práticas e pesquisas aplicadas em

Ciências exatas

Adilson Tadeu Basquerote Silva
Érica de Melo Azevedo
Roger Goulart Mello
Organizadores



2022