

TECNOLOGIAS
AVANÇADAS EM

CIÊNCIAS EXATAS:

Desenvolvimentos recentes e perspectivas futuras



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



2023

TECNOLOGIAS
AVANÇADAS EM

CIÊNCIAS EXATAS:

Desenvolvimentos recentes e perspectivas futuras



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



2023

Editora Chefe

Patrícia Gonçalves de Freitas

Editor

Roger Goulart Mello

Diagramação

Lidiane Bilchez Jordão

Dandara Goulart Mello

Patrícia Gonçalves de Freitas

Roger Goulart Mello

Projeto gráfico e edição de arte

Patrícia Gonçalves de Freitas

2023 by Editora e-Publicar

Copyright © Editora e-Publicar

Copyright do Texto © 2023 Os autores

Copyright da Edição © 2023 Editora e-Publicar

Direitos para esta edição cedidos à Editora e-Publicar
pelos autores**Revisão**

Os Autores

Open access publication by Editora e-Publicar**TECNOLOGIAS AVANÇADAS EM CIÊNCIAS EXATAS: DESENVOLVIMENTOS
RECENTES E PERSPECTIVAS FUTURAS, 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
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 – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
- IFPB

Naiola Paiva de Miranda - Universidade Federal do Ceará

Rafael Leal da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

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)

T255

Tecnologias avançadas em ciências exatas: desenvolvimentos recentes e perspectivas futuras - Volume 1 / Organizadores Milson dos Santos Barbosa, Rafael Leal da Silva, Roger Goulart Mello. – Rio de Janeiro: e-Publicar, 2023.

Livro em Adobe PDF
ISBN 978-65-5364-207-2
Inclui Bibliografia

1. Tecnologia. 2. Ciências exatas. 3. Pesquisa. I. Barbosa, Milson dos Santos (Organizador). II. Silva, Rafael Leal da (Organizador). III. Mello, Roger Goulart (Organizador). III. Título.

CDD 601

Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Editora e-Publicar

Rio de Janeiro, Brasil

contato@editorapublicar.com.br

www.editorapublicar.com.br

2023



Apresentação

É com grande satisfação que a Editora e-Publicar apresenta a obra intitulada “Tecnologias avançadas em Ciências Exatas: Desenvolvimentos recentes e perspectivas futuras, 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	11
PROTÓTIPO ECONÔMICO UTILIZANDO PLATAFORMA ARDUÍNO PARA SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO VOLTADOS PARA AGRICULTURA FAMILIAR E PRODUÇÃO EM ESCOLAS MUNICIPAIS DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI – INCENTIVO ÀS POLÍTICAS PÚBLICAS REGIONAIS	11
DOI 10.47402/ed.ep.c231901272	
	Letícia Silva Filgueiras Daniel Moraes Santos Rafael Alvarenga Almeida
CAPÍTULO 2	20
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO EM PRÉDIOS PÚBLICOS UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUÍNO – FOCO NA ANÁLISE ECONÔMICA COMO INSTRUMENTO PARA A ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA.....	20
DOI 10.47402/ed.ep.c231912272	
	Caio Soares Chaves Evaldo da Conceição Silva Daniel Moraes Santos Rafael Alvarenga Almeida
CAPÍTULO 3	31
GESTÃO DE ESTOQUE: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO RAMO DE VAREJO NO MUNICÍPIO DE ARACAJU/SE	31
DOI 10.47402/ed.ep.c231923272	
	Jonas Luz dos Santos Júnior Heloísa Thaís Rodrigues de Souza
CAPÍTULO 4	51
UMA APLICAÇÃO DO MODELO SARIMA PARA PREVER O NÚMERO DE NOTIFICAÇÕES DE DENGUE NA REGIÃO DE PARANAÍ - PARANÁ.....	51
DOI 10.47402/ed.ep.c231934272	
	Gabriel Manoel da Silva Eduardo dos Santos Zdepski Camila Celestrino de Castro Franchesco Sanches dos Santos Marcos Vinicius de Oliveira Peres
CAPÍTULO 5	61
SUPORTES POROSOS PARA IMOBILIZAÇÃO DA ENZIMA FTASE: <i>REVIEW</i>	61
DOI 10.47402/ed.ep.c231945272	
	Jéssica Barbosa Fanis Sylma Carvalho Maestrelli
CAPÍTULO 6	80
EQUILÍBRIO LÍQUIDO-VAPOR DA MISTURA R1234YF-R23 VIA REDES NEURAIS ARTIFICIAIS.....	80
	Henrique Marques Turqueti Pietro Soares Ramalho Tiago Dias Martins

CAPÍTULO 7	93
EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA PECTINA DE MAÇÃ GALA (<i>MALUS DOMESTICA BORK</i>)	93
DOI 10.47402/ed.ep.c231967272	Alessandra Benício da Silva Lambert Bárbara Conceição Pessoa de Oliveira Vitória Cuellar Almeida Shirley Cristina Cabral Nascimento Marlice Cruz Martelli
CAPÍTULO 8	106
INFLUÊNCIA DO TEMPO DE INCUBAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE PROTEASE DE <i>BACILLUS SUBTILIS</i> EM FERMENTAÇÃO SUBMERSA.....	106
DOI 10.47402/ed.ep.c231978272	Natália Bittencourt Melani Caio Eduardo Soria Roque Gabrielle Laporte Santos Edgar Silveira Elias Basile Tambourgi
CAPÍTULO 9	113
ESTUDOS SIMULADOS DE ADSORÇÃO DE CHUMBO COM A MACRÓFITA AQUÁTICA CABOMBA CAROLINIANA COMO BIORSORVENTE	113
DOI 10.47402/ed.ep.c231989272	Adriano Cosme Pereira Lima Tahise Neiva Campodonio José Luiz Cunha Cordeiro Taise Bomfim de Jesus Suzana Modesto de Oliveira Brito
CAPÍTULO 10	131
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E ETAPAS DO PROCESSO DE APRENDIZAGEM	131
DOI 10.47402/ed.ep.c2319910272	Marcelo Calixto Soares da Silva Alex Macedo de Araujo
CAPÍTULO 11	146
CARVÃO ATIVADO OBTIDO DA CASCA DE COCO VERDE PARA REMOÇÃO DE CORANTE AM EM MEIO AQUOSO: CARACTERIZAÇÃO E CINÉTICA DE ADSORÇÃO	146
DOI 10.47402/ed.ep.c23110011272	Dhessyca Maria Vitoria Gonçalves Soares Anderson Yuri Martins da Silva Isabelle Cristina Cruz Pereira Waneise Caroline Oliveira de Souza Alcino Matos de Azevedo Pontes Neto Shirley Cristina Cabral Nascimento Marlice Cruz Martelli

CAPÍTULO 12	160
SOLMÁFORO UMA PROPOSTA DE EQUIPAMENTO PARA MEDIÇÃO E INDICAÇÃO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA NO MUNICÍPIO DE BATAYPORÃ, MS	160
DOI 10.47402/ed.ep.c23110112272	
	Juliane da Silva Gonçalves Santana Lima
	Gabriela Priscila Teodoro Santini
	Cintia Samulha da Silva
	Luiz Henrique Silva Santana
	Betina Tavares Oliveira Aquino
	Carlos Eduardo Felipe Silva
	José Eduardo Fernandes Vieira
	Marilana Colodino dos Santos
CAPÍTULO 13	171
NORMA DE DESEMPENHO: NBR 15.575 E SUA UTILIZAÇÃO EM OBRAS DE PEQUENO E MÉDIO PORTE	171
	Guilherme Monteiro Coelho
	Felipe da Cruz Dias

CAPÍTULO 1

PROTÓTIPO ECONÔMICO UTILIZANDO PLATAFORMA ARDUÍNO PARA SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO VOLTADOS PARA AGRICULTURA FAMILIAR E PRODUÇÃO EM ESCOLAS MUNICIPAIS DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI – INCENTIVO ÀS POLÍTICAS PÚBLICAS REGIONAIS

**Letícia Silva Filgueiras
Daniel Moraes Santos
Rafael Alvarenga Almeida**

RESUMO

Fundamentado na premissa de que a agricultura representa uma importante atividade para promover o desenvolvimento regional do semiárido brasileiro, o uso da tecnologia de informação se faz cada vez mais presente nesse setor, atualmente estão sendo realizados muitos estudos visando facilitar o manejo e aumentar a produtividade das culturas. O processo de irrigação de pequenos agricultores tem se mostrado atrasada, quando não se é possível a obtenção de modelos de irrigação convencionais pelo seu alto custo, se faz necessária a irrigação de forma manual. O objetivo deste projeto é através do Arduino automatizar o controle de irrigação de água e suprir possíveis deficiências do solo através de um sistema de irrigação. Para isso, é feita uma análise do solo o qual deverá mostrar as deficiências de nutrientes presentes no mesmo, e através do sistema de irrigação será levados tais nutrientes para suprir as necessidades. Este é focado em um sistema que traga disponibilidade de tempo para ligar, irrigar e desligar mangueiras e outros recursos utilizados para irrigação, além do não desperdício de água que é envolvido no processo manual, sendo assim, a utilização de um sistema automatizado de irrigação de baixo custo é indispensável a esse público.

PALAVRAS-CHAVE: Arduino. Irrigação. Economia. Administração pública.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada tem sido importante estratégia para otimização da produção mundial de alimentos, proporcionando desenvolvimento sustentável no campo, com geração de empregos e renda de forma estável (MANTOVANI *et al.*, 2009). É o setor que mais consome água potável no Brasil, conseqüentemente, o que mais desperdiça. De acordo com estimativas do Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2007) a agropecuária usa 70% da água no país e metade dessa quantidade é jogada fora durante o processo de cultivo. Estima-se que se o meio rural diminuir apenas 10% do que consome seria suficiente para abastecer duas vezes a população mundial.

Para Malu Ribeiro, coordenadora da Rede das Águas da ONG SOS Mata Atlântica: “A eficiência passa por criar uma relação mais “sustentável” entre o setor e os recursos hídricos” (IDOETA, 2015).

Há setores que têm reduzido sua pegada hídrica. É preciso separar a agricultura que incorporou a sustentabilidade – muitas vezes porque depende disso para obter certificados internacionais que a permita exportar – da perversa, de muitas monoculturas (que exaurem os recursos do solo) e dos setores que usam muito veneno,

opina (IDOETA, 2015, p. 1).

De acordo com o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, até 2050, a agricultura deverá produzir globalmente 60% a mais de alimentos, e 100% a mais nos países em desenvolvimento, incluindo Brasil. Dessa forma, o setor terá de aumentar sua eficiência no uso dessa água, reduzindo as perdas e, ainda mais importante, aumentando a produtividade das culturas em relação aos recursos hídricos utilizados (UNESCO, 2015). Como se espera, até 2030, haverá um aumento na população mundial de aproximadamente (83) 3322.3222 8.100 milhões de pessoas, e será, portanto, necessário destinar 14% a mais de água doce em uso agrícola, para manter o ritmo crescente na oferta de alimentos (FAO, 2007).

A administração pública pode ser definida como um conjunto de órgãos criado com o objetivo de gerenciar os serviços públicos prestados a toda a população. Segundo Meirelles (1994), o estudo da Administração Pública em uma definição geral, abrangendo a sua estrutura e as suas atividades, deve partir do conceito de Estado, sobre o qual repousa toda a concepção moderna de organização e funcionamento dos serviços públicos a serem prestados aos administrados.

Em 1986, o governo José Sarney estabeleceu o Programa Nacional de Irrigação (Proni), que apresentava metas e objetivos para a Política Nacional de Irrigação (Proni, 1986). No estado de Minas Gerais, foi estabelecido o Plano Mineiro de Irrigação e Drenagem, que tinha como objetivo contribuir para o crescimento econômico-social do estado pela criação de empregos, distribuição de renda, aumento da produção agrícola, melhoria do abastecimento interno e formação de excedentes exportáveis (PMID, 1986). Deste modo, em sua concepção, a Política Nacional de Irrigação tinha duas vertentes distintas, mas complementares: aprimorar a agricultura do país através de tecnologia e desenvolver de forma sustentável (com foco nos extratos mais pobres da população) a economia nacional.

É comum observar em vários sistemas de irrigação que o manejo é muito dependente da atuação humana e mesmo quando os projetos foram bem planejados e implantados, o rendimento não é tão elevado quanto um sistema automático e mais independente. Irrigação mal planejada e manejada pode representar importante fator no resultado da produção, podendo haver perdas 100% em situações extremas. O simples fato de não controlar com precisão o tempo de irrigação em determinada área do plantio pode provocar perdas de produção, desperdício de energia, aumento de custos de produção, dentre outras consequências (GUIMARÃES, 2017).

Segundo Correia *et al.* (2016), uma forma de controlar o desperdício da água na agricultura é estimar a necessidade hídrica da cultura, repondo a quantidade certa de água no solo e, assim, garantindo à planta o suprimento necessário para um bom desenvolvimento. O que tem dificultado o manejo da irrigação, principalmente em pequenas propriedades (agricultura familiar), é a falta de monitoramento dos dados meteorológicos para estimar a demanda hídrica das culturas. Os produtores não dispõem de capital financeiro para investirem na aquisição de uma estação meteorológica.

Existem diversos modos utilizados para determinar a umidade do solo, no entanto não há se falar em um melhor, especificadamente, a escolha deverá levar em conta os objetivos desejados pelo pesquisador e/ou produtor, do projeto ou produto, do nível de precisão desejada, entre outros fatores que possam limitar sua escolha. Coelho (2008) relata que todos os métodos utilizados na determinação da umidade do solo apresentam limitações: ou quanto à precisão, ou por serem dispendiosos, ou excessivamente morosos. Libradi (1999 *apud* COELHO, 2008) confirma as limitações citadas e ressalta o elevado nível de complexidade de alguns métodos.

A criação de um sistema de irrigação automatizado para o controle de áreas agrícolas, não vem a ser uma descoberta recente, considerando a existência de um vasto mercado voltado para esta área, todavia por apresentar uma tecnologia de alto custo, torna-se de difícil acesso para pequenos e médios agricultores (SILVA *et al.*, 2007).

Segundo MCROBERTS (2011), o Arduíno é uma plataforma embarcada, constituído por hardware e software ambos de fonte aberta, dessa forma, podem criar inúmeros projetos independentes de controle, monitoramento, interatividade, basta somente conectá-lo a um computador ou rede e assim receber e enviar dados do Arduíno para os dispositivos que estiverem interligados a ele. Foi projetado como uma forma simples e barata de envolver os indivíduos com a eletrônica de microcontroladores.

Com Arduíno, um designer ou artista pode facilmente conhecer as noções básicas de eletrônica e sensores de forma muito rápida e pode começar a construir protótipos com muito pouco investimento (RODRIGUES; SARTORI; GOUVEIA, 2012).

Um sistema automático simples para fazer o controle da irrigação, com baixo custo de implantação e manutenção e facilidade de manuseio, auxiliaria os pequenos agricultores na contenção de água, diminuindo consideravelmente o desperdício de água, além de contribuir para o crescimento econômico dos mesmos. Aí que entra o papel da administração pública, onde refere-se à função administrativa, ou seja, ao conjunto de serviços atribuídos a realização

de atividades de interesse público e atendimento aos cidadãos numa comunidade ou organização.

A plataforma Arduino tem sido empregada em diversas áreas e com finalidades distintas, esse método de irrigação usando o Arduino se adaptaria perfeitamente as necessidades desses agricultores.

2. METODOLOGIA

Os ensaios foram realizados no laboratório de fenômenos eletromagnéticos do Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia (ICET), na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), campus Mucuri, Teófilo Otoni/MG.

2.1 Primeiro Sistema: Determinação da umidade ideal

Para o desenvolvimento do sistema foi utilizado a placa de prototipagem Arduino, um sensor de umidade, um vaso de planta e uma balança.

O primeiro passo foi determinar a massa do vaso de planta que foi de 2,513 kg, após a pesagem colocou-se o sensor de umidade dentro do vaso e este leu o valor inicial de 991 S/cm. Retirou-se o sensor e encheu o recipiente de água cerca de 1400 ml, deixou-se escoar a água até parar de pingar, pesou-se novamente o vaso que obteve 3,150 kg, colocou-se o sensor de novo. A partir disso, o programa gerou a cada 3 horas o valor da condutividade elétrica do solo (teor de umidade S/cm), armazenou esse valor e a hora medida. Com os dados obtidos foi possível construir a tabela e gerar a curva de condutividade do solo.

Figura 1: Sistema de umidade ideal.



Fonte: Autoria própria (2019).

2.2 Segundo Sistema: Protótipo do sistema de irrigação

Para o desenvolvimento do projeto foi utilizado (Figura 2) a placa de prototipagem Arduino UNO, uma placa de *protoboard* contendo luzes de *led* (*Light Emitting Diode*), resistores de $10k\Omega$ (ohm), módulo relé, válvula solenoide e jumper macho e fêmea. Foram elaborados todos os componentes visuais dos *led's* através da linguagem Arduino pelo software Arduino IDE.

A princípio no software desenvolvido foram criadas duas variáveis para armazenar a leitura do sensor; o *setup* é acionado quando o arduino é ligado, informando que a porta 8 do Arduino será usada para ler informações do sensor. No atuador, a porta 12 será utilizada para acionar o relé, a porta 5 será utilizada para ativar o *led* vermelho, a porta 6 para ativar o *led* amarelo e a porta 7 para ativar o *led* verde.

Após o Arduino saber a função de cada porta, foi usado o *loop* para garantir o funcionamento constante que o programa irá executar. Logo o programa lê constantemente a porta 8, onde tem um sensor ligado, que irá mandar a informação sobre a umidade do solo, essa informação será recebida e guardada na variável. Se a variável receber o valor “HIGH” isso significa que o solo estará seco, o *led* vermelho é ligado e o *led* verde se apaga, caso contrário, o solo estará úmido e o *led* vermelho se apaga e o verde é ligado.

Quando o sistema entrar no modo seco, na transição que é definida pela comparação, é dado o tempo de 5 segundos para evitar que entre no modo de irrigação quando o solo ainda estiver na transição de solo úmido para seco. Passado os 5 segundos, se o solo continuar em estado seco, o *led* vermelho se apaga e o *led* amarelo é aceso, onde o programa repete até que o solo fique úmido. Enquanto o estado do solo estiver seco, o programa aciona a porta 12, onde está conectado o relé, que por sua vez aciona a válvula solenoide, que funciona por 0,5 (meio) segundo e desliga. Isso dá um pulso na válvula que faz com que a água passe para o sistema aguardando mais 10 segundos e depois avalia novamente. O *led* amarelo se apaga e o programa entra no *loop* novamente.

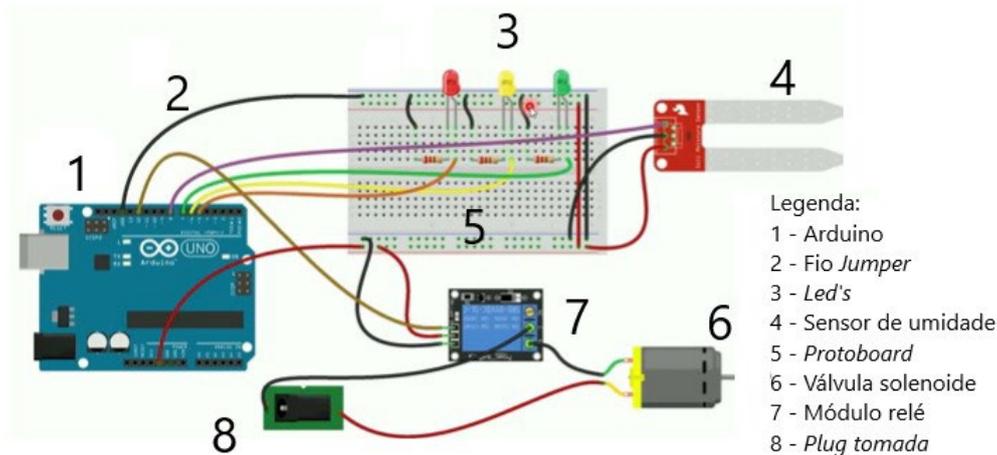
Através do código desenvolvido o Arduino faz a leitura do sensor de umidade processa as informações para acender as luzes de *led*. A cor dos *led's* indica o grau de umidade, verde para umidade adequada, amarelo para acionar a válvula solenoide e vermelho para “solo seco” (significando que o solo precisa ser irrigado).

Assim que o *led* acender a cor vermelha ele é posteriormente apagado e o *led* amarelo é aceso mandando um sinal para um módulo relé. Este, por sua vez, aciona a válvula solenoide

ligada a ele, inicialmente em estado fechado, a válvula recebe o sinal e abre de maneira que possibilite a passagem de água pela encanação irrigando o plantio, a irrigação é pausada assim que o solo alcança a umidade necessária e a luz de *led* verde acende.

O processo se repete sempre que necessário, com isso, a proposta é evitar o desperdício de água e uma irrigação sem necessidade de supervisão.

Figura 2: Protótipo do sistema.



Fonte: Autoria própria (2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela a seguir mostra o teor de umidade medido a cada três horas, a fim de determinar o valor da umidade a partir da capacidade de campo que é a ideal para a irrigação.

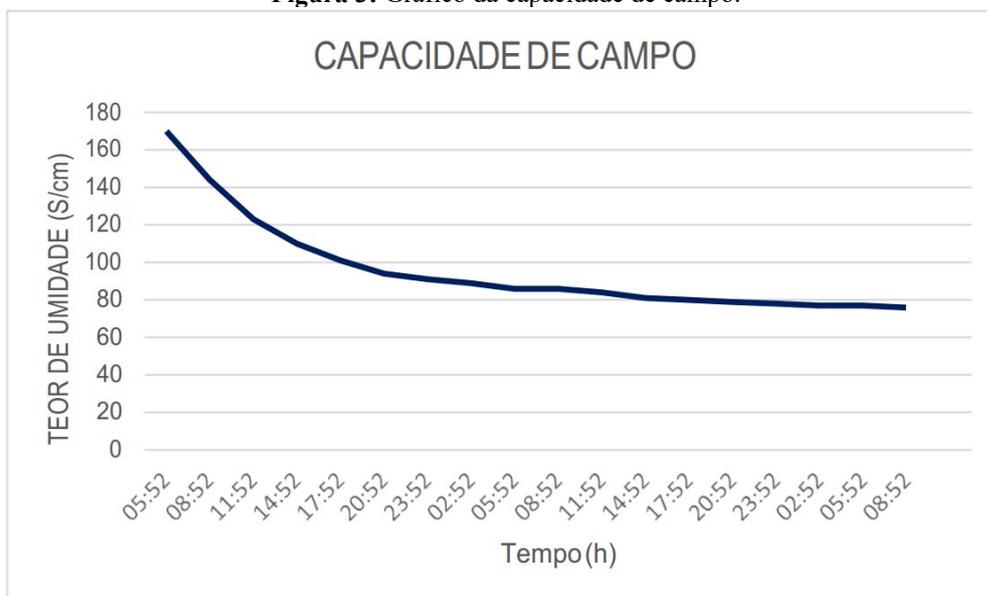
Tabela 1: Capacidade de Campo.

Tempo (h)	Teor de umidade (S/cm)
05:52	170
08:52	144
11:52	123
14:52	110
17:52	101
20:52	94
23:52	91
02:52	89
05:52	86
08:52	86
11:52	84
14:52	81
17:52	80
20:52	79
23:52	78
02:52	77
05:52	77
08:52	76

Fonte: Autoria própria (2019).

O gráfico abaixo apresenta a curva gerada através dos valores medidos pelo sistema usando o sensor de umidade.

Figura 3: Gráfico da capacidade de campo.



Fonte: Autoria própria (2019).

Após todos os procedimentos efetuados, dados recolhidos e analisados notou-se que, a capacidade de campo para o solo é de 76 S/cm. Para efetuar o cálculo de umidade ideal para ligar o segundo sistema é necessário determinar o ponto de murchamento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O primeiro sistema que é analógico e determina a umidade ideal para o solo, tem uma aplicação bastante eficiente e importante, que é identificar o momento em que uma plantação deve ser irrigada para que o segundo sistema seja ativado e assim efetivada a irrigação do plantio. Obtendo assim redução do desperdício de água, qualidade da plantação e principalmente economia.

Foi possível observar a exatidão do sensor e a capacidade de processamento do Arduino, ficando explícita a facilidade de implantação do sistema para irrigação, com apenas um conhecimento básico de microcontroladores, programação e eletrônica.

A administração pública brasileira tem se modificado no decorrer dos anos devido às novas funções dos administradores, necessitando profissionais cada vez mais capacitados para aprimorar a qualidade na execução de suas ações.

Com isso, é essencial ressaltar que a implementação de um sistema automatizado, é capaz de conter o desperdício de água na irrigação, de energia, produção e principalmente

otimizar o tempo nas atividades em que o agricultor familiar executa na sua plantação, por exemplo, as inúmeras vezes em que é necessário averiguar quando a plantação deve ser irrigada, ou quanto de água deve ser aplicado.

Além de ser um mecanismo que aprimora em tempo e custo o trabalho do produtor rural, abre amplas opções de comercializar seus produtos nos municípios regularmente e assim obtendo um ciclo econômico.

Espera-se que com o circuito desenvolvido no trabalho em questão, o sistema se torne mais eficiente e acessível a todos, podendo assim tornar um projeto totalmente viável.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. **Recursos da plataforma Arduino**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>> Acessado em: Mai. 2019.

BERNARDO, S.; SOARES, A.; MANTOVANI, E. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: Editora UFV, 2006.

COELHO, S. L. **Desenvolvimento de um tensiômetro eletrônico para o monitoramento do potencial da água no solo**. 213 páginas. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2008.

CORREIA, G. R.; OLIVEIRA ROCHA, H. R. de; RISSINO, S. das. D. Automação de sistema de irrigação com monitoramento via aplicativo web. **REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA-REVENG**, v. 24, n. 4, p. 314-325, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/609>. Acessado em: Out. 2019.

GUIMARÃES, V. G. **Automação e monitoramento remoto de sistemas de irrigação visando agricultura familiar**. 2017. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/15621/1/2011_ViniciusGalvaoGuimaraes_tcc.pdf, Acessado em: Out. 2019.

IDOETA, P.A. **A agricultura é vilã ou vítima na crise hídrica?** BBC, 2015. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/03/150302_agua_agricultura_pai>. Acessado em: Jul. 2019.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 355p.

MCRBERTS, M. **Arduino básico**. 1 ed. São Paulo: Novatec, 2011.

MEIRELLES, H. L. **Direito Administrativo Brasileiro**. 19 ed. atual. São Paulo: Malheiros Editores, 1994.

PMID. **Plano Mineiro de Irrigação e Drenagem**. Governo de Minas Gerais — governador Hélio Garcia. Jan. 1986.

POVO, Gazeta. Vida e Cidadania. **Quase metade da água utilizada na agricultura é desperdiçada.** 2019. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/quasemetade-da-agua-usada-na-agricultura-e-desperdicada8cloqojzd90xgtv7tdik6pn2>>. Acessado em: Jun. 2019.

PRONI. **Programa Nacional de Irrigação.** Governo José Sarney, 1986.

RÁDIO TEÓFILO OTONI. **Seca provoca situação de emergência em Teófilo Otoni e outros 150 municípios de MG.** Disponível em: <<http://www.radioteofilotoni.com.br/noticia/seca-provoca-situacao-de-emergencia-em-teofilo-otoni-e-outras-150-municipios-de-mg-6664>>. Acessado em: Jun. 2019.

RODRIGUES, L.; SARTORI, E.; GOUVEIA, B. **Introdução ao Arduino.** Mato Grosso do Sul: Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2012. 25 p.

UNESCO. **Programa de Avaliação Mundial da Água das Nações Unidas.** Colombella, Perugia, Itália. 2015.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO EM PRÉDIOS PÚBLICOS UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUÍNO – FOCO NA ANÁLISE ECONÔMICA COMO INSTRUMENTO PARA A ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA

Caio Soares Chaves
Evaldo da Conceição Silva
Daniel Moraes Santos
Rafael Alvarenga Almeida

RESUMO

Um ambiente termicamente confortável é essencial para que qualquer atividade se torne produtiva, o que é válido para todos os serviços prestados no meio da administração pública. No setor público diversas são as atividades realizadas ao longo do dia, e o bem estar dos seus servidores é de fundamental importância para a qualidade final do afazeres desenvolvidos. O conforto térmico desses ambientes é primordial, pois a transpiração excessiva, a falta de ar, o cansaço constante e o mal estar, são algumas das consequências notadas em um profissional que se encontra em um ambiente de trabalho cuja temperatura está fora dos níveis desejados. A utilização dos aparelhos de ar-condicionado é uma boa medida para solucionar ou amenizar tal situação, no entanto, a eficiência desses equipamentos e as trocas de calor no ambiente devido as fontes de energia (interna e externa), fazem com que nem sempre a temperatura programada a unidade de refrigeração seja a mesma presenciada no meio. Ganho econômico e produtivo são algumas das vantagens que um ambiente confortável termicamente gera ao setor da administração pública, e a verificação da temperatura presente nesse meio pode ser feita através da plataforma Arduino, que constitui uma ferramenta simples e de fácil utilização.

PALAVRAS-CHAVES: Temperatura. Arduino. Conforto térmico. Administração pública.

1. INTRODUÇÃO

A administração pública segundo Bresser Pereira (1995) constitui o aparelho estatal, ou seja, se trata do conjunto formado pelo governo e seus agentes administrativos, e esse é regulado por um ordenamento jurídico que consiste em um conjunto de normas e leis, que existem para regulamentar e organizar a administração do Estado em todas as suas esferas, tendo como objetivo principal o interesse público e o bem estar comum, partindo de princípios da legalidade, moralidade, impessoalidade e eficiência (BRASIL, 2015, art. 37).

Uma pessoa que trabalha na administração pública é chamada de gestor público, e possui grande responsabilidade para com a sociedade e nação, devendo exercer a gestão e administração de matérias públicas com transparência e ética, em concordância com todas as normas legais estipuladas pelo Estado (MADEIRA, 2014).

A administração pública pode se dar de duas formas, a administração direta e a indireta. A administração pública direta é aquela exercida pelos poderes da União, Estados, Distrito

Federal e Municípios, órgãos dotados de personalidade jurídica própria. Já a administração pública indireta consiste na transferência da administração por parte do Estado a pessoas jurídicas, podendo essas pessoas serem fundações, organismos privados e ainda outras empresas públicas. Nesse tipo de administração ocorre o que é chamado de descentralização administrativa (POLITIZE, 2019).

Como dito anteriormente, a administração pública constitui um importante instrumento para todos em uma sociedade, e esse é rígido e tem as suas atividades desenvolvidas por pessoas, cada uma em seu cargo e função, devendo buscar desempenhar o seu papel da melhor maneira possível para o bem comum. Boa parte das atividades realizadas no setor da administração pública se dão em ambientes fechados, como por exemplo em escritórios, salas de atendimento e consultórios, o que é algo que vem se tornando comum a todas pessoas, onde as mesmas de uma forma geral estão cada vez mais passando a maior parte do seu tempo em locais fechados, seja no trabalho, na escola, na faculdade ou em casa. Esse cenário faz com que a climatização dos referidos ambientes seja de fundamental importância, uma vez que promove o conforto térmico e a saúde do ar local, acarretando no bem estar físico e mental, bem como no aumento da disposição e rendimento nas atividades realizadas (ENGEPOLI, 2019).

A climatização de um determinado ambiente não se trata apenas do controle da sua temperatura, mas sim de fazer com que essa permaneça em uma faixa confortável aos organismos ali a serem preservados, fornecendo dessa forma umidade e oxigenação. Isso pode ocorrer para diferentes finalidades e em múltiplos locais, como por exemplo em residências unifamiliares, indústrias, escritórios, escolas, prédios públicos, hospitais, granjas e estufas agrícolas (TECNOGERA, 2014). Já para Machado (2009) climatizar um espaço significa tratar a temperatura, umidade, pureza e movimentação do ar no mesmo, por meio do emprego de unidades de refrigeração, filtragem, circulação e controle do ar.

O uso dos aparelhos de ar-condicionado em ambientes da administração pública principalmente em cidades com elevadas taxas de temperatura, vem se tornando cada vez mais frequente, visto ser esses de grande influência e relevância no desempenho dos seus servidores. Um ambiente com os níveis de temperatura, umidade e oxigenação adequados, torna-se muito mais prazeroso para aqueles que dele irão fazer uso, e as consequências se mostram positivas quando analisados os resultados obtidos na presença dessa situação. No entanto, quando a situação retrocida não se faz presente em um ambiente de trabalho como o mencionado, situações de extrema delicadeza podem vir a ocorrer, como a de pessoas passando mal e sendo

levadas para hospitais, podendo ser afastadas temporariamente das suas atividades, bem como uma visão não muito positiva do local de trabalho (UGREEN, 2019).

Dessa forma, os aparelhos de ar-condicionado constituem uma importante ferramenta no que diz respeito a busca pela qualidade do ambiente de trabalho nas mais diversas esferas, principalmente na administração pública. Mas, se os referidos equipamentos estão realmente refrigerando o ambiente na temperatura a qual foram programados é sempre uma dúvida e é nesse ponto que a utilização da plataforma Arduíno para o presente trabalho se justifica, uma vez que se permite relacionar a temperatura de programação do aparelho com a temperatura de fato presente no ambiente refrigerado.

A eficiência energética de um equipamento como por exemplo o ar-condicionado está relacionada a capacidade desse em desenvolver a sua função consumindo o mínimo de energia possível, porém, apresentando resultados satisfatórios. Cada equipamento no momento da compra, deve ter a sua eficiência verificada em função da atividade a que o mesmo será submetido, dessa forma as pessoas estarão contribuindo para um uso mais eficiente da energia. No Brasil foi criado o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que é coordenado pelo Inmetro e tem como objetivo fornecer a eficiência energética dos equipamentos comercializados (EPE), 2019).

Diversos são os fatores que podem de alguma forma influenciar na eficiência do aparelho, como por exemplo a presença de fontes de calor no local considerado. Existem dois tipos de fontes energias que devem ser levadas em consideração em um ambiente quando se analisa a temperatura no mesmo em virtude do uso de um equipamento de refrigeração, são elas as fontes de energia interna e externa. As fontes internas de energia são aquelas geradas no interior da edificação, provenientes de equipamentos, iluminação e pessoas presentes no ambiente. Já as externas, geradas no exterior da edificação, na maioria das vezes são provenientes da insolação solar através das paredes e janelas. Outro ponto também a ser considerado é área a ser refrigerada, bem como o número de equipamentos utilizados para a climatização (BRASIL, 2011; LIMA, 2017).

No entanto, avaliar o ar-condicionado em termos de sua composição mecânica e/ou eletrônica não é o objetivo do trabalho, e sim apenas verificar se a temperatura a que o mesmo foi programado para operar é de fato a temperatura na qual o ambiente se encontra. Para isso se fará o uso do Arduíno, que segundo Cavalcante, Tavolaro e Molisani (2011) trata-se de uma

plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre, que possibilita a criação de ferramentas de fácil utilização, grande utilidade e praticidade, flexibilidade e baixo custo.

2. METODOLOGIA

Por meio da linguagem de programação C foi desenvolvido um código de programação com o intuito de se fazer a medição da temperatura em ambientes na presença dos aparelhos de ar-condicionado, através de um protótipo elaborado com a plataforma Arduino, apontando após a medição o erro existente entre o valor da temperatura a qual os aparelhos estavam programados com a temperatura presente no local de análise.

Foram necessários os seguintes itens para a preparação do protótipo:

- Notebook para o desenvolvimento da programação;
- Plataforma Arduino para armazenar a programação e estabelecer a comunicação entre o sensor e o código;
- Resistor;
- Jumpers de ligação para a condução da energia;
- Protoboard para a ligação entre o sensor e a placa, e demais componentes presentes;
- Sensor de temperatura para a realização da medição.

Após a montagem do protótipo e a verificação de todos os possíveis ajustes, a medição foi realizada em 5 diferentes dias e em diferentes pontos do ambiente escolhido para a análise. Para cada dia de análise um valor de temperatura foi escolhido, sendo realizado 15 medições para esse. Após isso foi calculada a média de cada uma das 5 temperaturas, apontando o erro para cada uma das mesmas em função do valor de temperatura programado no equipamento. Em todos os dias, antes do início das medições uma simples calibração no sensor de temperatura foi realizada.

O sensor de temperatura utilizado foi o DS18B20, que se trata de um sensor impermeável que permite a medição de temperatura e umidade. O mesmo é de grande precisão ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ de exatidão) proporcionando a medição de temperaturas através de uma conexão de dados de apenas um fio com o seu microcontrolador Arduino.

Por fim, após a calibração do sensor e obtenção de todos os valores de temperatura, foi plotado o gráfico representativo dos dados obtidos, bem como o valor de desvio encontrado de

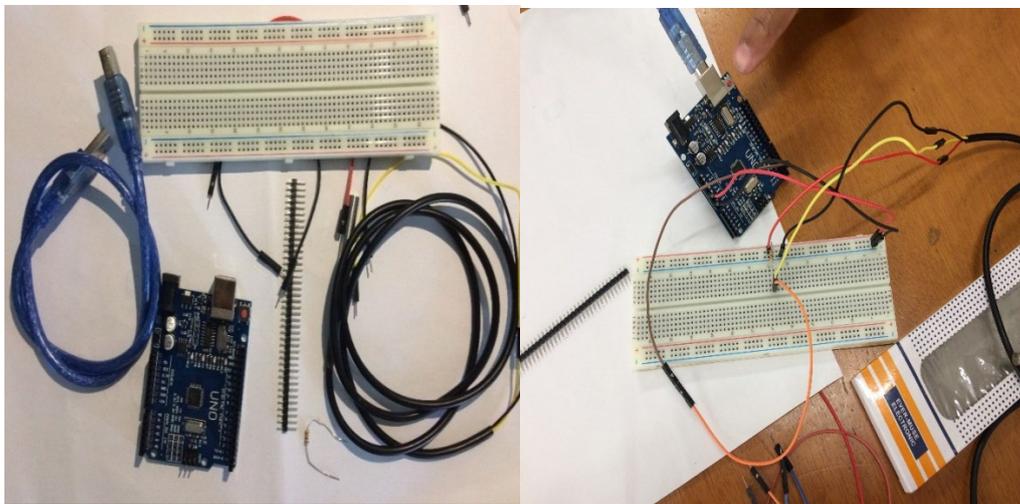
acordo com o que foi proposto pelo trabalho e também o gráfico da eficiência energética do aparelho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A coleta de dados como já dito foi realizada em 5 diferentes dias, sendo em cada dia verificado uma temperatura. O local escolhido foi a sala 207 do pavilhão de aulas da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), por questões de facilidade de execução e acesso a ambientes com a unidade de refrigeração.

O procedimento para a realização do teste foi o seguinte: o local escolhido teve todas as suas janelas e portas fechadas e o aparelho de ar-condicionado ligado a temperatura escolhida, sendo deixado nessa por cerca de 5 horas antes do início das medições para que a mesma se estabilizasse, ou seja, para que o ambiente passasse do regime transiente para o regime permanente de temperatura. As temperaturas foram após a montagem do protótipo medidas a cada 10 segundos, buscando dessa forma analisar um comportamento mais preciso da mesma durante o período de medição. Em seguida é mostrado toda a estrutura necessária e a montagem do protótipo, conforme a Figura 1.

Figura 1: Componentes utilizados e montagem do protótipo.



Fonte: Autoria própria (2019).

Antes do início de qualquer medição, uma calibração simples foi feita no sensor de temperatura, para verificar se o mesmo estava apto para ser utilizado. Dessa forma se fez uso de um copo com água e gelo, sendo medida a temperatura do mesmo, devendo o sensor indicar valores na casa dos 0°C. A Figura 2 ilustra o teste de calibração.

Figura 2: Calibração do sensor de temperatura.



Fonte: Autoria própria (2019).

O resultado de tal calibração está exposto na Figura 3 imediatamente abaixo, onde se pode perceber que o sensor utilizado possuía boa exatidão nos valores apresentados, uma vez que a variação para o 0°C foi pequena e muito próxima do desvio fornecido pela própria especificação do equipamento, como falado no item anterior. Dessa forma, o mesmo foi considerado apto para a sequência de testes.

Figura 3: Dados da calibração do sensor de temperatura.

```
COM3  
Localizando sensores DS18B20...  
Foram encontrados 1 sensores.  
Endereco sensor: 28AA7D8E1313026B  
Temp C: 0.63 Min : 0.63 Max : 0.63  
Temp C: 0.63 Min : 0.63 Max : 0.63  
Temp C: 0.63 Min : 0.63 Max : 0.63  
Temp C: 0.63 Min : 0.63 Max : 0.63  
Temp C: 0.69 Min : 0.63 Max : 0.69  
Temp C: 0.63 Min : 0.63 Max : 0.69  
Temp C: 0.69 Min : 0.63 Max : 0.69
```

Fonte: Autoria própria (2019).

Após as etapas mencionadas foi dado início as medições das temperaturas, e em todos os dias de coleta de dados os procedimentos realizados foram os mesmos, variando apenas a temperatura escolhida para o ar-condicionado.

Após as medições, com base nas temperaturas obtidas foi possível realizar algumas averiguações e estabelecer princípios que relacionassem a temperatura registrada no controle do equipamento com a real temperatura no interior da sala de aula.

A partir das temperaturas encontradas foi calculada a temperatura média, dada pela Equação 1 na sequência.

$$T_{m\u00e9dia} = \frac{\sum T}{n} \quad (1)$$

A partir do c\u00e1lculo das temperaturas m\u00e9dias foi poss\u00edvel comparar as mesmas com as temperaturas de refer\u00eancia (solicitadas ao aparelho) e calcular o erro relativo percentual que \u00e9 obtido pelo uso da Equa\u00e7\u00e3o 2 logo abaixo.

$$Erro(\%) = \frac{|T_{interna}| - |T_{controle}|}{|T_{controle}|} \quad (2)$$

Onde a temperatura interna \u00e9 a temperatura presente de fato no ambiente e a temperatura de controle, \u00e9 a que o aparelho foi programado.

Para cada valor de temperatura escolhido nos 5 diferentes dias, foram realizadas 15 medi\u00e7\u00f5es, sendo os resultados obtidos ap\u00f3s todas as medi\u00e7\u00f5es e c\u00e1lculos disponibilizados na Tabela 1 imediatamente a seguir. A presente tabela relaciona os valores das 15 medi\u00e7\u00f5es feitas para cada valor escolhido de temperatura com a m\u00e9dia para cada uma dessas e o seu respectivo erro.

Tabela 1: Resultados da m\u00e9dia das temperaturas e erro.

	Temperaturas Padr\u00e3o				
	17 \u00b0C	19 \u00b0C	21 \u00b0C	23 \u00b0C	25 \u00b0C
T1	19,84	20,00	21,75	23,62	25,50
T2	19,84	19,94	21,75	23,44	25,45
T3	20,00	20,00	21,66	23,31	25,31
T4	20,00	20,00	21,56	23,25	25,26
T5	19,84	19,94	21,56	23,12	25,26
T6	20,00	20,00	21,50	23,06	25,20
T7	20,06	20,06	21,50	23,06	25,20
T8	20,00	20,06	21,50	23,06	25,18
T9	20,00	20,06	21,50	23,12	25,15
T10	20,06	20,12	21,48	23,12	25,15
T11	20,12	20,06	21,48	23,12	25,08
T12	20,06	20,06	21,48	23,12	25,08
T13	20,06	20,12	21,40	23,06	25,06
T14	20,12	20,12	20,31	23,06	25,06
T15	20,12	20,12	20,31	23,12	25,00
Som\u00e1torio	300,12	300,66	320,74	347,64	377,94
M\u00e9dia	20,01	20,04	21,38	23,18	25,20
Erro	18%	5%	2%	1%	1%

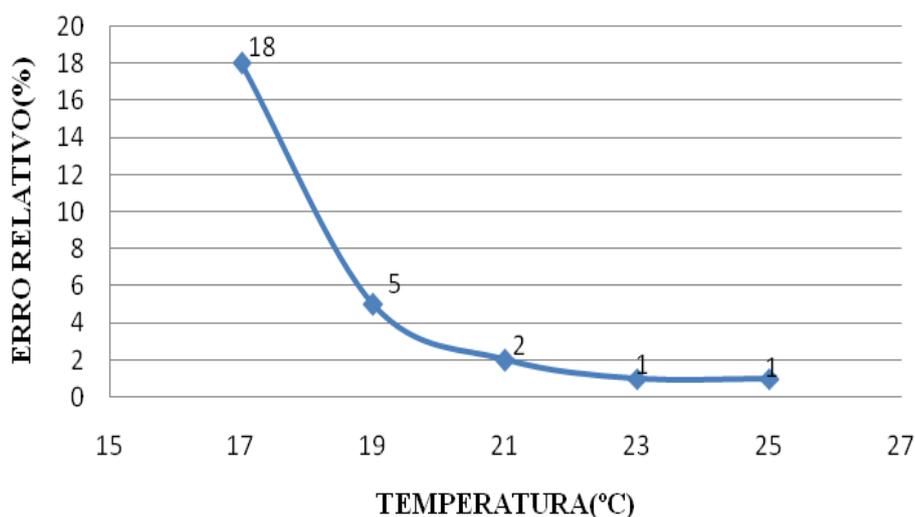
Fonte: Autoria pr\u00f3pria (2019).

Como se pode perceber na tabela acima, a variação dos erros se deu conforme a variação temperatura, sendo encontrado o maior erro para quando o aparelho de ar-condicionado foi programado para operar na temperatura de 17°C, ou seja, para menores temperaturas de programação os erros resultantes são maiores.

Quando as temperaturas de operação do mesmo foram alteradas para 19°C, 21°C, 23°C e 25°C, os erros encontrados para as respectivas temperaturas foram diminuindo de forma expressiva. A Figura 4 abaixo evidencia de forma clara que o erro relativo tende a zero na medida em que a temperatura de programação do aparelho é elevada se aproximando da temperatura ambiente.

No entanto, embora possa ser muito pequeno, o erro nunca chegará a ser zero, pois essa seria uma situação de uma máquina perfeita e ideal, algo que na realidade não existe. Todo e qualquer sistema, de qualquer que seja a área, sempre irá possuir uma eficiência inferior a 100%, nenhuma máquina possui eficiência máxima, em virtude de inúmeras questões, que vão desde o seu processo de fabricação, funcionamento e operação.

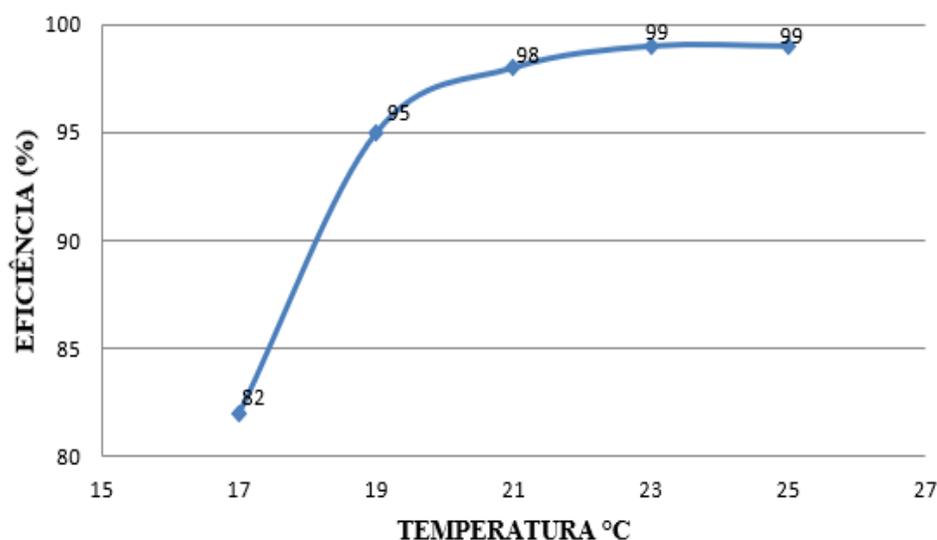
Figura 4: Temperaturas de operação e erro relativo.



Fonte: Autoria própria (2019).

Já a Figura 5 traz a relação resultante entre as temperaturas de operação da unidade refrigeradora e a eficiência encontrada para o aparelho em cada uma dessas temperaturas.

Figura 5: Relação eficiência e temperatura de controle.



Fonte: Autoria própria (2019).

Os dados da curva da Figura 5 foram obtidos por meio da Equação 3.

$$EFICIÊNCIA (\%) = 100 - ERRO \quad (3)$$

A análise do gráfico da Figura 5 pode ser feita de maneira simples, é observado que na medida em que a temperatura de programação do ar-condicionado se eleva, a eficiência do mesmo em operação para aquela temperatura aumenta, o que se deve as trocas de calor presente entre os meios interno e externo, o que será melhor explicado no próximo item.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final de todos os procedimentos, análises e comparação dos resultados obtidos, pode se concluir que o erro encontrado para cada valor de temperatura se deu em virtude de duas possíveis situações. A primeira está ligada a própria eficiência da unidade de refrigeração, uma vez que nenhuma máquina possui eficiência de 100%, enquanto que a segunda está relacionada as fontes de energias internas e externas existentes. A fonte interna de energia nos dias de coleta foi desconsiderada uma vez que dentro da sala de teste não havia nenhum outro equipamento além do ar-condicionado ou pessoa. Já a fonte externa muito provavelmente influenciou de forma significativa, pois os dias em que se realizou as medições foram de forte insolação e dessa forma, devido as diferenças de temperatura entre o ambiente refrigerado (interno) e o externo as trocas de calor foram constantes, fazendo com o que o ambiente em análise não permanecesse na temperatura de programação da unidade refrigeradora.

Foi observado também que os maiores erros foram encontrados para as menores temperaturas de programação, sendo esses reduzidos na medida em que a mesma era elevada e se aproximava da temperatura ambiente. A justificativa para tal ocorrência também se deve as trocas de energia entre os meios, já que quanto mais próxima da temperatura ambiente fosse a temperatura imposta ao aparelho, menor seria a diferença entre ambas, reduzindo dessa forma as trocas de calor entre os dois ambientes, visto que para haver trocas de energia é preciso antes haver diferenças de temperaturas, e quanto maior forem essas últimas, mais significativas serão as trocas mencionadas.

A importância desse estudo para situações que envolvam o ambiente de trabalho na administração pública é grande, pois além de possíveis gastos com a saúde dos servidores devido aos problemas já citados, há também um gasto com eletricidade considerável devido a utilização dessas unidades de refrigeração. Com os dados obtidos foi possível perceber que a utilização de temperaturas muito baixas impostas ao aparelho não refletiam a temperatura presente no ambiente devido ao significativo erro encontrado, logo, em situações como estas se tem altos gastos de eletricidade, não proporcionando o conforto térmico esperado. Em outras palavras, para temperaturas muito inferiores a temperatura ambiente, a eficiência energética do equipamento de refrigeração é baixa, não atingindo os valores esperados e sendo necessário considerável gasto de energia para os valores apresentados, como exemplificado na Figura 5. Dessa forma, a eficiência energética se faz útil, necessária e comprovada na aplicação do presente trabalho.

Com a aplicação em discussão é possível prever até que ponto a redução da temperatura do ar-condicionado é viável do ponto de vista da qualidade do ambiente e também do ponto de vista econômico, fazendo-se uma relação com o desvio encontrado. A eficiência energética quanto maior for, trará economias significativas, pois produzirá os resultados esperados a menores custos. Dessa forma, a presente aplicação da plataforma Arduino para a verificação da temperatura, se bem implementada e utilizada, trará vantagens do ponto de vista financeiro e do bem estar dos servidores presentes no ambiente de trabalho, o que consequentemente aumentará o seu rendimento beneficiando a todos.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Eletrobrás Procel (Org.). **Sistemas de Ar Condicionado**. Rio de Janeiro, 2011. 1148 p. Disponível em:

<<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20Pratico%20PROCELMa%20Ar-Cond-Procet-Eletr-11.pdf>>. Acesso em: Jun. 2019.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. 48. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2015.

BRESSER PEREIRA, L. C. **Estado, aparelho do Estado e sociedade civil**. Brasília: ENAP, 1995.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. **Revista Bras. Ensino Fís.**, [S.I.], vol.33, n.4, p.4503-4503, 2011. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v33n4/18.pdf>>. Acesso em: Jun. 2019.

ENGEPOLI. **Sistemas Sustentáveis. Canal sustentável**. 2019. Disponível em: <<https://www.engepoli.com/o-que-e-conforto-termico/>>. Acesso em: Jul. 2019.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Eficiência energética**. 2019. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>>. Acesso em: Jul. 2019.

LIMA, L. F. **Estudos de Eficiência Energética em Aparelhos Condicionadores de Ar e Técnicas para Redução da Carga Térmica nas Edificações**. 2017. 132 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

MACHADO, H. A. **Refrigeração e ar condicionado**. Rio de Janeiro, 2009.

MADEIRA, J. M. P. **Administração Pública**: Tomo I. 12. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2014.

TECNOGERA. **Importância de um sistema de refrigeração e climatização**. 2014. Disponível em: <<https://www.tecnogera.com.br/blog/qual-a-importancia-de-um-sistema-de-refrigeracao-e-climatizacao>> Acesso em: Jun. 2019.

UGREEN. **Estratégias fundamentais para o conforto térmico**. 2019. Disponível em: <<https://www.ugreen.com.br/conforto-termico/>>. Acesso em: Jul. 2019.

CAPÍTULO 3

GESTÃO DE ESTOQUE: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO RAMO DE VAREJO NO MUNICÍPIO DE ARACAJU/SE

Jonas Luz dos Santos Júnior
Heloísa Thaís Rodrigues de Souza

RESUMO

Em meio a um mercado tão competitivo, empresas estão buscando incansavelmente resultados que proporcionem a sua sobrevivência. Para isso, necessita-se por parte dos proprietários buscar ferramentas que auxiliem no desenvolvimento da instituição, elevando o lucro e reduzindo os custos. Esta pesquisa tem como tema Gestão de estoque em uma empresa do ramo de varejo no município de Aracaju/SE, cujo nome é Comércio de Tambores. Em virtude da empresa possuir problemas referentes ao controle de estoque dos seus produtos, surgiu o questionamento: quais as principais ações de melhorias para a gestão de estoque da empresa Comércio de Tambores? Respondendo a este questionamento, o presente estudo tem como objetivo geral analisar a gestão de estoque da empresa Comércio de Tambores localizada no município de Aracaju/SE, propondo melhorias nos processos. Para alcançar este objetivo, foram apresentados os seguintes objetivos específicos, a saber: verificar as etapas do processo de controle de estoque na empresa; identificar problemas relacionados ao controle de estoque e propor um plano de ações referente aos obstáculos encontrados com propostas de melhorias. Visto que a empresa busca elevar o quantitativo de vendas, o controle de estoque é essencial para que isso aconteça. A pesquisa em questão verificou-se diversos gargalos que prejudicam os processos realizados, onde para isso estudos foram e continuam sendo feitos em busca de resultados que proporcionem a empresa melhoria contínua. Através do método de abordagem utilizado, com o estudo de caso, explicativo/descritivo, bibliográfico, quali-quantitativo e de campo. A análise foi feita através do fluxograma, que proporcionou o mapeamento dos processos, como também o inventário de todo o estoque, que não havia ainda na empresa, auxiliando na verificação do quantitativo de produtos, que proporcionará ótima reposição, sem custos por estoque desnecessário. Como a empresa ainda não possuía tais ferramentas, elaboraram-se planilhas no Excel, que facilitaram a visualização e preenchimento, além de automatizar os processos, podendo ser alimentada e atualizada a qualquer momento. Ademais, também foi utilizado a ferramenta questionário e entrevistas, que levantaram informações pertinentes ao tema estudado, como também diagrama de Ishikawa, que identificou os problemas relacionados a gestão de estoque e a Curva ABC, que demonstrou quais produtos possuem maior e menor saída. Com o LEC (Lote Econômico de Compras) e o 5W2H, a pesquisa demonstra uma proposta de plano de ação, gerando diversos benefícios para a empresa. Através dos estudos realizados, foram verificados diversos pontos de melhorias, pois muitos processos estavam sendo realizados de maneira ineficaz. Para isso, o presente estudo de caso apresentou o quão pertinente é uma gestão de estoque eficaz tanto para a redução dos custos, quanto para elevar qualidade no atendimento ao consumidor e concomitantemente o lucro, e desenvolvimento das atividades operacionais.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de estoque. Lote Econômico de compras. Curva ABC.

1. INTRODUÇÃO

A gestão de estoque é de suma importância para todas as empresas, pois é parte fundamental no orçamento operacional de uma organização. É nítido que para alcançar os objetivos de elevar a qualidade, diminuindo o tempo e os custos, é necessário que o nível de estoque seja razoável, resultando em uma administração mais eficaz, conseguindo-se diferenciar da concorrência, pois os custos de estocagem não trazem valor aos produtos.

Para Slack, Chambers, Harland *et al.* (2010, p. 18), o conceito de gestão de estoques derivou-se a partir da função de compras nas empresas que entenderam o quão pertinente era integrar o fluxo de materiais a funções de suporte, seja através do negócio ou por meio do fornecimento aos clientes imediatos, incluindo a função de compras, acompanhamento, armazenamento, planejamento e controle da produção e toda a gestão de distribuição.

O estudo foi dirigido ao objeto de pesquisa da empresa Comércio de Tambores, do ramo varejista de tambores do município de Aracaju/SE, em que verificou-se a gestão de estoque e demais processos. Mesmo possuindo tempo de mercado, a empresa tem um déficit em seu controle de estoque, prejudicando seus resultados.

Mediante os pontos analisados, verificou-se que procedimentos errados podem acarretar custos elevados, que não é o objetivo final. Para isso, mediante a situação encontrada, questiona-se: *quais as principais ações de melhorias para a gestão de estoque da empresa Comércio de Tambores?*

O referente estudo de caso tem como objetivo geral analisar a gestão de estoque da empresa Comércio de Tambores localizada no município de Aracaju/SE e concomitantemente os seus objetivos específicos são: verificar as etapas do processo de controle de estoque na empresa; identificar problemas relacionados ao controle de estoque e propor um plano de ações referente aos obstáculos encontrados com propostas de melhorias.

A empresa Comércio de Tambores foi escolhida mediante a necessidade de um gerenciamento de estoque, de modo que os processos sejam realizados de maneira clara e objetiva, auxiliando no desenvolvimento. Esta empresa é do ramo de tambores, localizada no município de Aracaju/SE. Há 8 anos no mercado, possui um quadro composto por 5 colaboradores, sendo 1 diretamente e 4 indiretamente.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A pesquisa em questão detalha especificamente os conceitos de estoque, os quais demonstrarão os pertinentes pontos que servem para explanar os questionamentos da pesquisa, através de livros e artigos relacionados ao tema.

2.1 Conceito e Evolução da Logística

Segundo Giacomelli e Pires (2016, p. 8), logística é a gestão do processamento de pedidos, estoques, transportes e a aliança de armazenamento, manuseio de materiais e embalagens, onde todos estão integrados em uma rede de instalação, com o intuito de auxiliar

as necessidades operacionais de manufatura, suprimento, além do atendimento ao consumidor na cadeia de suprimentos.

2.1.1 Segmento Varejista

Segundo Levy e Weitz (2000), a palavra varejo, que em inglês é chamada de retail, deriva-se do francês *retailer*, que significa cortar um pedaço ou em pequenas quantidades. Já para Kotler e Armstrong (2007, p. 500), o varejo são todas as atividades relativas à venda de produtos ou de serviços que vão diretamente para o consumidor final para uso pessoal.

2.1.2 Mercadorias e Serviços

Harvey (2013, p. 19), seguindo o pensamento de Marx, diz que a mercadoria é uma presença universal no interior do modelo de produção capitalista. Verifica-se que os seres humanos estão cercados de mercadorias, seja comprando, olhando, desejando ou recusando os produtos. Cotidianamente as mercadorias demonstram o quão essenciais são para a sobrevivência.

Para que tais mercadorias cheguem ao consumidor final através dos serviços prestados, faz-se necessário seguir o planejamento, com uma excelente gestão de estoque, que proporcionará a empresa atender aos consumidores finais dentro do prazo estabelecido.

2.1.3 Nível de Satisfação do Cliente

Segundo Lozada (2016, p. 1), as organizações existem com o objetivo de produzir bens ou prestar serviços, gerando contentamento as necessidades dos clientes, e, concomitantemente, lucro. Visto que as exigências dos clientes estão em constante transformação, como também a economia, é necessário estar atento as demandas de alterações relativas as necessidades, para manter a satisfação dos clientes, ou seja, flexibilidade.

2.2 Estoque

Segundo Paoleschi (2019, p. 11), estoque pode ser conceituado como todo material que fica disponível para ser requisitado e guardado em um local adequado, a exemplo do almoxarifado. Para isso, há a necessidade cada vez maior de diminuir o custo de estoque, limitando ao mínimo possível ou, se possível, eliminando-os, e administrar com eficiência, utilizando ferramentas como o Just in time (JIT).

2.2.1 Gestão de Estoques

É nítido que todas as empresas buscam para a produção de novos produtos ou até mesmo para suprimir sua própria demanda a utilização de materiais e suprimentos e isso denomina-se

estoque. Como afirma Tadeu (2010), o estoque pode ser definido como a parte que integra algo maior, que é a empresa e que representa os recursos físicos e financeiros imobilizados na forma de ativos para a produção e/ou venda para o consumidor, podendo ser reconhecido como o pulmão que oxigena a instituição.

2.2.2 Previsão de Demanda

Segundo Gonçalves (2013, p. 228) a previsão de demanda é a visão antecipada da ocorrência de fatos ou circunstâncias futuras. Ou seja, consiste em calcular estimativas ou até mesmo prever o comportamento do mercado em certo período futuro, com o objetivo de ajustar recursos e estratégias operacionais.

Para o cálculo da média aritmética simples, que é feita através da soma de conjuntos de dados históricos divididos pelo quantitativo correspondente ao conjunto considerado, a saber:

$$\text{Média} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2)$$

Em que,

i = número de ordem

n = quantidade de períodos utilizados

X_i = Demanda do período i

Média = média aritmética simples do período

2.2.3 Lote Econômico de Compras

Segundo Bowersox, Closs, Cooper *et al.* (2014, p. 169), o lote econômico de compras (LEC) pode ser considerada como a prática de reabastecimento que diminui o valor combinado de manutenção de estoques e de pedidos. Através dessa verificação será possível pressupor que a demanda e os custos sejam relativamente estáveis durante o ano. Ou seja, conseguirá reduzir os custos logísticos, obtendo a quantidade certa de materiais que necessitam ser adquiridos para a reposição de estoque.

Segundo Nogueira (2018, p. 119), o cálculo do lote econômico de compras (LEC) pode ser definido através:

$$LEC = \sqrt{\frac{2.CA.CUC}{TC.PU}} \quad (3)$$

Em que,

CUC = custo unitário de compra;

TC = taxa de custo de manutenção de estoques;

CA = consumo anual;

PU = preço unitário.

2.2.4 Seleção de Fornecedores

Segundo Mitsutani (2014, p. 13), a seleção de fornecedores deve ser feita através da análise da capacidade de gerar inovação, reduzir os custos e elevar a produtividade.

Para Marinho, Amato, Neto *et al.* (2014, p. 114), uma das maneiras mais expressivas para obter materiais de qualidade, de acordo com a necessidade da empresa, é realizar uma adequada seleção de um fornecedor que possa fazer o que se propõe.

2.2.5 Recebimento de Materiais

O recebimento inicia-se a partir do momento em que o material chega à empresa, onde deverá ser verificado o pedido de compra, pois havendo eventuais divergências entre o pedido de compra e o material recebido, faz-se necessário a intervenção do órgão de compra ou do consumidor requisitante do material para que possa ser esclarecida todas as informações necessárias para ser realizado a correção (LAUGENI, 2015, p. 99).

3. METODOLOGIA

A metodologia descrita por Bruyne (1991) é “a lógica dos procedimentos científicos em sua gênese e em seu desenvolvimento, não se reduz, portanto, a uma “metrologia” ou tecnologia da medida dos fatos científicos”.

3.1 Caracterização da área de estudo

A empresa Comércio de Tambores é do segmento varejista e trabalha com tambores plásticos e de ferro, como também produtos de limpeza. Já há 8 anos de mercado, atualmente é composta por proprietário e um funcionário em sua loja física, estando localizada na cidade de Aracaju, no estado de Sergipe. Mediante a análise feita no estoque da empresa em estudo, verificou-se diversos gargalos que resultou na presente pesquisa.

3.2 Materiais e Métodos

Para o estudo em questão, foram utilizados os métodos de pesquisa quali-quantitativa, explicativa e descritiva, com o objetivo de analisar as informações que determinam ou auxiliam para a ocorrência de causas, buscando solucionar os problemas, que neste caso é a gestão de estoque da empresa. Com isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica e de campo acerca dos temas relacionados com o título da pesquisa, através de pesquisas em livros, artigos, monografias, teses, entre outros. Destaca-se que a empresa disponibilizou anotações, referentes a saídas dos meses de janeiro, fevereiro e março de 2023, as quais serviram como objeto de estudo para pesquisa.

3.2.1 Ferramentas da Qualidade utilizadas na pesquisa

Para Limeira, Lobo e Marques (2015, p. 117), as ferramentas são dispositivos ou procedimentos gráficos, numéricos ou analíticos, fórmulas práticas, esquemas de funcionamento, mecanismos de operação, ou seja, todos os métodos que buscam viabilizar a implantação da qualidade.

Para a presente pesquisa foram utilizadas as seguintes ferramentas da qualidade: Fluxograma, Inventário, questionários e entrevistas, diagrama de Ishikawa, curva ABC e 5W2H.

3.2.1.1 Fluxograma

Conforme Marta Camargo (2018, p. 130) o fluxograma representa a sequência do trabalho ou dos processos com o objetivo de atingir os resultados específicos. Ou seja, é a representação gráfica das atividades, proporcionando facilidade na compreensão. Sendo estruturado por símbolos geométricos, o fluxograma permite entender rapidamente qual serviço, material e recursos estão envolvidos e quais as decisões precisam ser tomadas, mostrando os passos que devem ser seguidos, colaborando na diminuição do tempo, elevando a produtividade da empresa.

Diante do exposto, foi utilizado neste estudo esta ferramenta de mapeamento, com o objetivo de compreender o funcionamento dos processos na empresa estudada.

3.2.1.2 Inventário

Para Laugeni (2015, p. 100), o inventário tem como objetivo garantir que as quantidades físicas ou existentes estejam conforme as listagens e os relatórios contábeis dos estoques. Ou seja, os relatórios, que servem de direcionamento para a organização precisam estar de acordo

com as quantidades existentes na empresa, para que não ocorra gargalos no momento de compra ou venda de produtos. Sendo assim, justifica-se a importância da realização do inventário na empresa pesquisada, a fim de analisar de fato os produtos existentes na mesma.

3.2.1.3 Questionários e Entrevistas

O questionário aplicado foi estruturado e conteve 4 perguntas, aplicado ao proprietário da empresa e colaborador, sendo feito através do aplicativo Google Forms, com o objetivo de levantar informações referentes ao assunto estudado. É pertinente destacar que com a utilização das entrevistas e questionários, verificou-se pontos pertinentes que através da avaliação inicial não conseguiu-se observar.

3.2.1.4 Diagrama de Ishikawa

Outra ferramenta utilizada na pesquisa foi o Diagrama de Ishikawa, pois, segundo Carpinetti (2016, p. 82), o diagrama de causa e efeito foi idealizado com o objetivo de representar as relações existentes entre um problema ou o efeito inesperado do resultado de um processo e todas as probabilidades de causas do problema, sendo um direcionamento para a identificação da causa principal do problema e para a determinação das medidas corretivas que serão adotadas.

3.2.1.5 Curva ABC

A curva ABC foi utilizada na presente pesquisa para analisar o fluxo de caixa. Mediante Gonçalves (2020), a análise ABC busca verificar os produtos de maior valor de demanda, onde sobre eles será exercido uma gestão mais contundente, principalmente porque estes representam valores altíssimos de investimentos e o controle permitirá elevadas reduções nos custos dos estoques. Para a construção faz-se necessário ter disponível o consumo dos itens de estoque e os valores de aquisição para uma mesma data.

3.2.1.6 Lote Econômico de Compras

Segundo Bowersox, Closs, Cooper *et al.* (2014, p. 169), o lote econômico de compras (LEC) pode ser considerada como a prática de reabastecimento que diminui o valor combinado de manutenção de estoques e de pedidos. Através dessa verificação será possível pressupor que a demanda e os custos sejam relativamente estáveis durante o ano. Ou seja, conseguirá reduzir os custos logísticos, obtendo a quantidade certa de materiais que necessitam ser adquiridos para a reposição de estoque.

3.2.1.7 5W2H

Segundo Behr, Moro e Estabel (2008, p. 39), a ferramenta 5W2H, que também é conhecida por outros nomes, conceitua-se em uma maneira de estruturar a ideia de uma forma mais simples e organizada através das palavras de origem inglesa, onde o 5W representa What, When, Why, Where e Who e o 2H representa How e How Much.

Para esta pesquisa foi utilizado esta ferramenta com o objetivo analisar formas de melhoria, através de problemáticas levantadas anteriormente.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesta seção são apresentados a análise dos resultados obtidos para a resolução da problemática em questão, através dos dados coletados durante o estudo de caso realizado na empresa Comércio de Tambores. Levando como embasamento a fundamentação teórica, que auxiliou no confronto dos resultados obtidos.

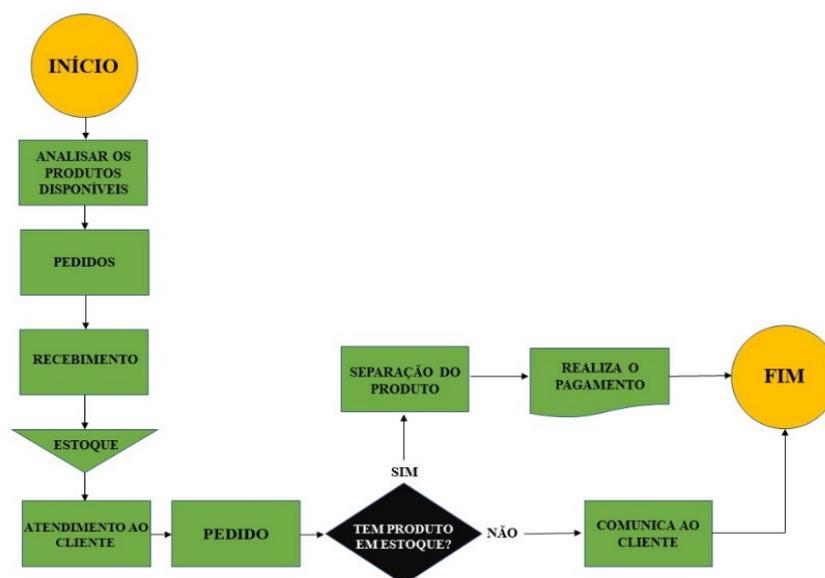
4.1 Verificação do Processo de Controle de Estoque da Empresa

Para o referente estudo, foi realizado um levantamento de informações, verificando cada etapa executada através de um fluxograma, o qual facilitará no controle do processo. Já o inventário que auxilia no reconhecimento de não conformidades do estoque, foi realizado, com o objetivo de analisar os produtos disponíveis na empresa e suas respectivas quantidades.

4.1.1 Fluxograma do Processo

A empresa, mesmo havendo vários anos no mercado, ainda possui um grande déficit em seu estoque. O mês inicia e termina sem o pleno conhecimento do quantitativo de produtos disponíveis através de informações concretas, gerando diversos pontos negativos para o bom andamento dos processos. Com isso, é nítido que a implementação de ferramentas que auxiliem em seu desenvolvimento, como o fluxograma de processos é de suma importância para que esteja de maneira mais explícita o estoque disponível (Figura 1).

Figura 1: Fluxograma do Processo na empresa Comércio de Tambores.



Fonte: Autoria própria (2023).

Para auxiliar na identificação objetiva dos produtos disponíveis na empresa, utilizou-se a ferramenta Inventário, que está descrito no item 4.1.2.

4.1.2 Inventário de Produtos

O inventário foi realizado em março de 2023, com todos os tipos de produtos, seja os tambores de plástico e metal, como também os produtos de limpeza. Através deste inventário é nítido o quantitativo de cada produto, auxiliando bastante no controle do estoque, pois alimentando a planilha diariamente a empresa conseguirá ter ciência do quantitativo correto de todos os produtos disponíveis.

Por meio dos Gráficos 1 e 2 é possível verificar que a empresa possui diferentes tipos de tambores e produtos de limpeza, observando os que possuem maior e menor quantidade no estoque.

Gráfico 1: Inventário dos Produtos Comercializados.



Fonte: Autoria própria (2023).

Visto que a empresa não possuía um inventário de seus produtos, foi implementado uma planilha, onde através da avaliação quantitativa foi preenchida corretamente demonstrando que no momento a empresa possui 593 itens no estoque e 130 itens na loja, totalizando 723 itens. (Figura 2).

Figura 2: Estoque da empresa Comércio de Tambores.



Fonte: Autoria própria (2023).

No gráfico 2, é possível identificar o inventário dos produtos de limpeza da empresa Comércio de tambores.

Gráfico 2: Inventário dos Produtos de Limpeza Comercializados.



Fonte: Autoria própria (2023).

Através do quadro consegue-se observar que o estoque de produtos de limpeza é pequeno, pois a empresa ainda está iniciando neste novo produto, fazendo testes e buscando observar se haverá saída.

4.2. Identificação dos problemas relacionados ao controle de estoque

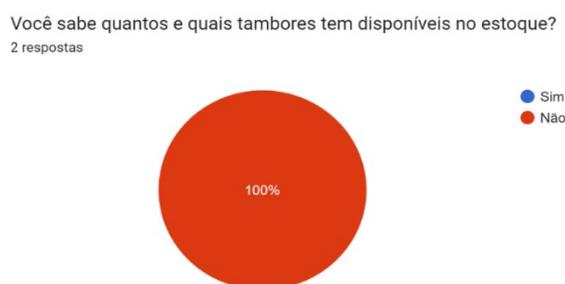
Com o objetivo de identificar as causas dos problemas relacionados a gestão de estoque da empresa, foram utilizados o questionário, entrevistas, diagrama de Ishikawa e Curva ABC, os quais permitem verificar os produtos que têm maior receita para a empresa.

4.2.1 Questionário e Entrevistas

Visto os problemas encontrados no estoque da empresa Comércio de Tambores, foi necessário coletar informações do colaborador e proprietário, para que medidas corretas sejam tomadas em busca da melhoria dos processos. Para isso, o autor desta pesquisa implementou um formulário através do Google Forms, com algumas perguntas, onde tanto o colaborador, quanto o proprietário responderam.

Segundo o gráfico 3, 100% dos entrevistados afirmam que o colaborador e proprietário da empresa não possuem o quantitativo de produtos disponíveis no estoque.

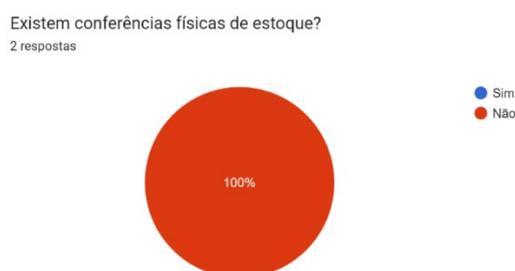
Gráfico 3: Pergunta do Questionário sobre a gestão de estoque atual.



Fonte: Autoria própria (2023).

O Gráfico 4, descreve que a empresa estudada não possui conferência física de estoque, dificultando nos processos realizados.

Gráfico 4: Pergunta do Questionário sobre a gestão de estoque atual.



Fonte: Autoria própria (2023).

Ademais, todos os entrevistados revelam que pela falta de gestão de estoques a empresa não possui o quantitativo e quais tambores foram vendidos nos três meses estudados. Com certeza isso é assustador, pois exemplifica as consequências negativas que acontecem pela falta do controle correto de estoque (Gráfico 5).

Gráfico 5: Pergunta do questionário sobre a gestão de estoque atual.

Você sabe quantos e quais tambores foram comprados e vendidos nos últimos 3 meses?
0 / 2 respostas corretas

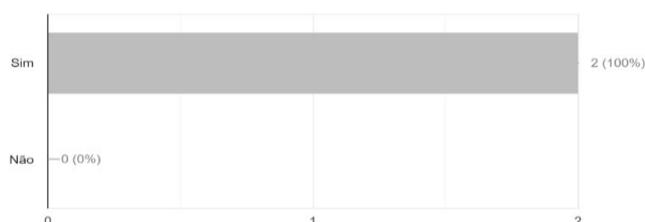


Fonte: Autoria própria (2023).

Visto o quão pertinente é a implementação de um controle de estoque eficiente que facilite na organização da empresa, tanto o colaborador quanto o proprietário, verificando os gargalos e os pontos de melhoria, identificaram a necessidade de melhorias. (Gráfico 6)

Gráfico 6: Pergunta do questionário sobre a gestão de estoque atual.

Você acredita ser necessário um controle de estoque diferente para facilitar na organização da empresa?
0 / 2 respostas corretas



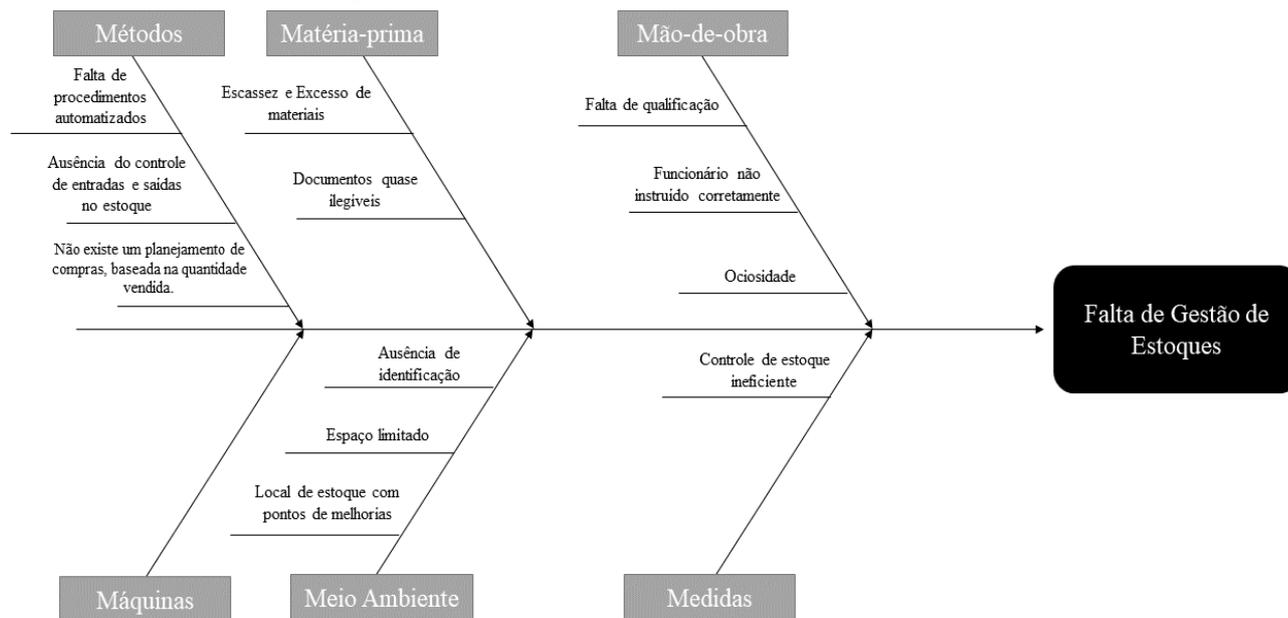
Fonte: Autoria própria (2023).

Através dos gráficos acima, verificou-se que o colaborador e proprietário da empresa responderam as mesmas opções, sendo que cada um respondeu em dias diferentes. Isso mostra a realidade em relação a sua gestão de estoque atual, prejudicando em seus resultados.

4.2.2 Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa, que tem o objetivo de construir a relação entre o efeito e todas as possibilidades que podem contribuir para a sua ocorrência, foi utilizado neste estudo, entendendo detalhadamente o problema relacionado a pesquisa. (Figura 3).

Figura 3: Diagrama de Ishikawa no estoque da empresa Comércio de Tambores.



Fonte: Autoria própria (2023).

Mediante os pontos citados acima, observa-se que existem diversos gargalos que necessitam de melhorias, sendo necessário aplicar as ferramentas que auxiliarão na resolução destes problemas. Através da figura 4, verifica-se a loja física, sendo um espaço limitado para diversos produtos, necessitando de arrumação adequada.

Figura 4: Loja Física da empresa Comércio de Tambores.



Fonte: Autoria própria (2023).

Para a verificação dos problemas da gestão de estoque da empresa e os procedimentos para resolução destes, faz-se necessário analisar quais os itens que produzem maior receita para a organização, ou seja, os produtos com maior saída. Para analisar este ponto, foi utilizado a curva ABC.

4.2.3 Curva ABC

As tabelas descrevem as saídas dos produtos referente aos meses de janeiro, fevereiro e março de 2023 da empresa Comércio de Tambores, os quais foram separados pelo colaborador da empresa e o autor da pesquisa fez a planilha e os gráficos para facilitar no entendimento.

Quadro 2: Contabilidade dos produtos vendidos no período de Janeiro à Março de 2023.

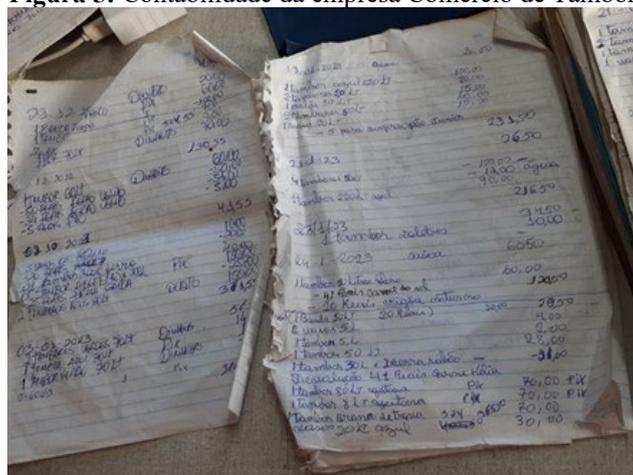
CONTABILIDADE			
MÊS	QUANTIDADE DE PRODUTOS	VALOR VENDIDO	
JANEIRO	107,00	R\$	4.054,00
FEVEREIRO	140,00	R\$	5.403,50
MARÇO	120,00	R\$	5.145,80
TOTAL		R\$	14.603,30

Fonte: Autoria própria (2023).

No quadro acima, observa-se que 107 produtos foram vendidos dentro do mês de janeiro, 104 em fevereiro e até o momento 120 em março, totalizando 367 produtos vendidos, sendo que a maneira utilizada para anotar as vendas realizadas estavam sendo feitas incorretamente, pois não detalhava o produto, dificultando na interpretação dos resultados obtidos. No mais, destaca-se que por conta da entrega da presente pesquisa, não foi possível realizar a anotação do mês completo.

Na figura 5, observa-se o quão deficiente é a contabilidade das vendas diárias, e esses foi um dos pontos encontrados que gerava muitos problemas para o controle de estoque.

Figura 5: Contabilidade da empresa Comércio de Tambores.



Fonte: Autoria própria (2023).

Ademais, nos gráficos 7 e 8 consegue-se observar facilmente o quantitativo de produtos vendidos e o valor total destes.

Gráfico 7: Contabilidade da quantidade dos produtos.



Fonte: Autoria própria (2023).

No gráfico acima, é possível observar uma similaridade nos três meses estudados, onde em nenhum desses meses houve uma diferença gigantesca de vendas. Isso faz com que a empresa compreenda que seu movimento costuma-se ser contínuo, pelo menos nos meses estudados, pois a diferença é mínima.

Gráfico 8: Valor vendido nos meses de Janeiro à Março de 2023.

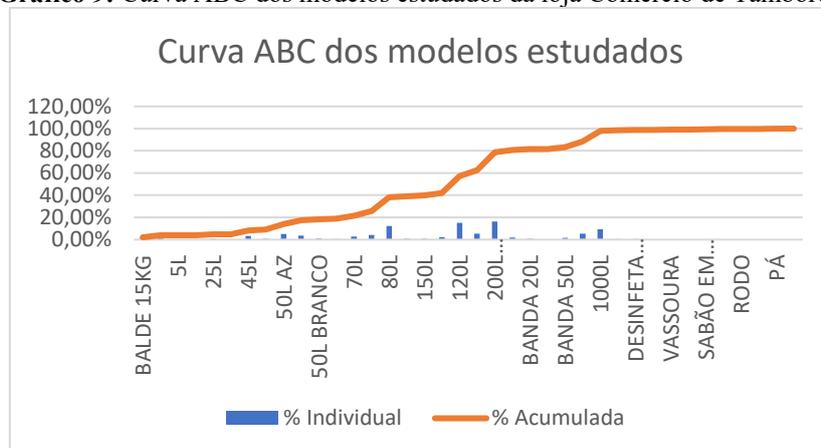


Fonte: Autoria própria (2023).

Dentre os meses de Janeiro, Fevereiro e Março de 2023 as vendas foram equilibradas. Os dados obtidos nesses três meses auxiliaram na construção da curva ABC, através da análise dos produtos mais vendidos e os produtos menos vendidos.

O Gráfico 9, mediante o gráfico de Pareto, apresenta a Curva ABC e seus respectivos percentuais, tanto individuais, quanto acumulados.

Gráfico 9: Curva ABC dos modelos estudados da loja Comércio de Tambores.



Fonte: Autoria própria (2023).

Através do gráfico acima, verifica-se os produtos de maior e menor relevância, havendo grande ou pequeno retorno de capital.

4.3 Proposta de Uma Nova Sistemática de Gestão de Estoque

Mediante a realidade atual da empresa, nota-se que não existe o controle de aquisição de novos produtos, gerando custos desnecessários. Para mudar essa realidade, foi utilizado um dos métodos de melhoria deste processo que é o Lote Econômico de Compras (LEC). Para auxiliar na tomada de decisão, através da implementação e execução de propostas de melhorias decorrente dos problemas encontrados foi utilizado o plano de ação.

4.3.1 Lote Econômico De Compras

Segundo Oliveira (2022, p. 45), o LEC tem como objetivo mensurar a quantidade ideal para compra e aquisição de itens para repor o estoque, a fim de reduzir ao máximo os custos relacionados ao mesmo.

Gráfico 10: Previsão de Demanda da empresa Comércio de Tambores.



Fonte: Autoria própria (2023).

Para construção do gráfico 10, foi solicitado ao proprietário e colaborador o quantitativo de produtos vendidos nos meses estudados. O cálculo do LEC foi realizado com base em cada modelo estudado. Mediante as informações do Bacen (Banco Central do Brasil), a taxa Selic continuou constante durante o desenvolvimento da atual pesquisa. No Quadro 2, é possível verificar que a taxa continuou constante entre Dezembro de 2022 até Março de 2023.

Quadro 3: Histórico da taxa Selic de dezembro de 2022 a março de 2023.

HISTÓRICO DA TAXA DE JUROS SELIC	
Meta Selic	Período de vigência
13,75%	23/03/2023 - Até o momento
13,75%	02/02/2023 - 22/03/2023
13,75%	08/12/2022 - 01/02/2023

Fonte: Autoria própria (2023).

Os resultados encontrados durante o desenvolvimento deste estudo, referentes às taxas mais antigas podem ser verificados abaixo, no Quadro 1.

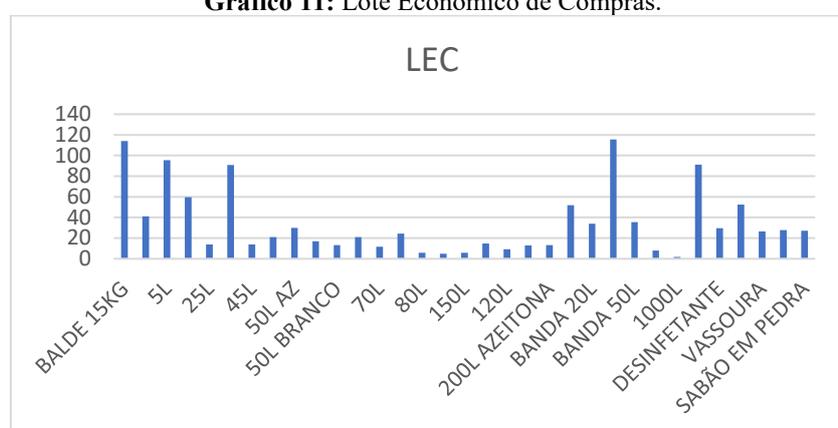
Quadro 3: Resultados encontrados com as taxas iniciais.

Taxas	Custos com pedidos	Custos para armazenar	Custos totais
13,75%	R\$ 300,00	R\$ 1.520,00	R\$ 1.820,00

Fonte: Autoria própria (2023).

O Gráfico 11 retrata o resultado do cálculo do Lote Econômico de Compras (LEC) utilizando a taxa de juros mais recente, a saber 13,75% ao ano.

Gráfico 11: Lote Econômico de Compras.



Fonte: Autoria própria (2023).

Mediante a aplicação do LEC, verificou-se o quantitativo essencial de produtos a serem adquiridos por pedido e quantas vezes o mesmo pode ser feito por um período.

Além do LEC, o Plano de Ação 5W2H é mais uma ferramenta que auxiliar na gestão de estoque da empresa, buscando melhoria contínua.

4.3.2 Plano de Ação 5W2H

Para Carpinetti (2016, p. 41), através do plano de ação, os efeitos indesejáveis de ocorrências serão minimizados ou eliminados. Ou seja, mediante o 5W2H será possível analisar de maneira objetiva pontos de melhoria para a empresa.

Através do plano de ações, a empresa conseguirá atingir os objetivos, colaborando para o seu crescimento. (Quadro 4).

Quadro 4: Plano de Ação 5W2H para a loja Comércio de Tambores.

O QUE?	POR QUÊ?	COMO?	ONDE?	QUEM?	QUANDO?	QUANTO?
Elaborar planilhas de controle de estoque	Para possuir o controle dos produtos em estoque de forma automatizada.	Implementando planilhas no Excel que registre a entrada e saída de produtos em estoque.	Estoque	Autor da pesquisa	Até 31/05/2023	R\$ -
Treinamento para colaborador	Para que o colaborador esteja capacitado para realizar as atribuições necessárias.	Mostrando explicitamente como é realizado cada procedimento.	Loja	Autor da pesquisa	Até 30/04/2023	R\$ -
Organização do layout da loja	Para que os produtos estejam explícitos ao consumidor de acordo com precificação e tipo, facilitando a venda.	Através de reorganização do ambiente, modificando os produtos, com o objetivo de atingir o layout que produza resultados.	Loja	Autor da pesquisa e colaborador da empresa.	Até 30/04/2023	R\$ -
Automatizar a contabilidade de saídas dos produtos	Para facilitar na contabilidade diária, semanal, mensal e anual, deixando de utilizar papel e passando a ser automatizado.	Implementando planilhas no Excel onde o colaborador irá descrever quando foi vendido, qual, forma de pagamento, quantidade e valor.	Loja	Autor da pesquisa.	A partir de 01/04/2023	R\$ -
Checklist de atividades a serem realizadas diariamente.	Para que o colaborador possa ter um direcionamento de quais atividades devem ser realizadas diariamente, não ficando ocioso.	Implementando uma planilha de atividades a serem realizadas.	Loja e Estoque	Autor da pesquisa.	Até 30/04/2023	R\$ 10,00
Identificação dos produtos	Para localizar com maior facilidade os produtos disponíveis	Criando e colocando etiquetas com tipo e valor.	Loja	Autor da pesquisa e colaborador da empresa.	Até 20/06/2023	R\$ 100,00
Implementação de inventário dos produtos	Para estar ciente do quantitativo de produtos disponíveis em estoque.	Através de análise quantitativa, juntamente com a ferramenta Excel.	Loja	Autor da pesquisa	Até 31/03/2023	R\$ -

Fonte: Autoria própria (2023).

Mediante os pontos listados no plano de ação 5W2H, já foram realizados a implementação de inventário dos produtos, a elaboração de planilhas de controle de estoque, como também otimização do tempo, através da curva ABC para a empresa em estudo. Outro ponto analisado foi a automatização da contabilidade das saídas dos produtos. Ademais, os demais pontos ainda serão realizados, seguindo os prazos estabelecidos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão de estoque é um tema pertinente para todas as empresas, independente do ramo de atuação. Com o intuito de analisar a gestão de estoque em busca de melhorias da empresa Comércio de tambores, localizada no município de Aracaju/SE, o presente estudo procurou observar a realidade do momento e quais os pontos de melhoria poderiam ser aplicados para crescimento da empresa. Através dos estudos realizados, pôde-se verificar os processos realizados pela empresa através do fluxograma, mapeando os processos, e o que estava acarretando a ineficiência do controle de estoque. Para resolução destas, foram utilizadas planilhas, automatizando os processos, além da organização dos materiais, implementação de

inventário de estoque, sugestões de melhorias do espaço laboral, mudança de layout, gerando uma visão melhor para os clientes dos produtos disponíveis, além de deixar em evidência os produtos de maior procura. Também foram utilizadas ferramentas, como o questionário e entrevistas, diagrama de Ishikawa, curva ABC, plano de ação 5W2H, LEC, Fluxograma, Inventário, entre outros. Através das ações aplicadas, verificou-se as melhorias nos processos, em que foram identificados os produtos de maior e menor saídas, além da organização das vendas dos 3 últimos meses, que estavam super desorganizadas, como também implementar uma nova ferramenta para controle de vendas, ou seja, controle de saída dos produtos, através de uma planilha no Excel que trará muitos benefícios para a empresa, entre outros.

Por fim, pode-se afirmar que o presente estudo atingiu o seu objetivo, pois conseguiu analisar a realidade da empresa e trouxe propostas de melhorias.

REFERÊNCIAS

BEHR, A. *et al.* **Gestão da biblioteca escolar: metodologias, enfoques e aplicação de ferramentas de gestão e serviços de biblioteca.** Brasília: UFRGS, 2008. v. 37.

BOWERSOX, D. J. *et al.* **Gestão logística da cadeia de suprimentos.** Porto Alegre: Grupo A, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580553185/>. Acessado em: Mar. 2023.

CAMARGO, M. **Gerenciamento de Projetos.** Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595153332/>. Acessado em: Mar. 2023.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade - Conceitos e Técnicas**, 3ª edição. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2016. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597006438/>. Acessado em: Mar. 2023.

CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.; SLACK, N. **Administração da Produção.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002, 747 p.

GIACOMELLI, G.; PIRES, M. R. S. **Logística e Distribuição.** Porto Alegre: Grupo A, 2016. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788569726937/>. Acessado em: Mar. 2023.

GONÇALVES, P. S. **Administração de Materiais.** Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2020. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595157132/>. Acessado em: Mar. 2023.

GONÇALVES, P. S. **Logística e Cadeia de Suprimentos: O Essencial.** São Paulo: Editora Manole, 2013. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520448915/>. Acessado em: Mar. 2023.

HARVEY, D. **Para entender o capital**: Livro I. São Paulo: Boitempo Editorial, 2013. ISBN 978-85-7559-323-3.

KOTLER, P. **Administração de marketing**. 10. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2000

LAUGENI, F. P. Petrónio Garcia. **Administração da produção**. São Paulo: Editora Saraiva, 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502618367/>. Acessado em: Mar. 2023.

LOBO, R. N. **GESTÃO DA QUALIDADE**. São Paulo: Editora Saraiva, 2020. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536532615/>. Acessado em: Mar. 2023.

LOZADA, G. **Administração de Produtos e Serviços**. Porto Alegre: Grupo A, 2016. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788569726630/>. Acessado em: Mar. 2023.

MARINHO, B. de L. *et al.* **Gestão estratégica de fornecedores e contratos - uma visão integrada - 1ª Edição**. São Paulo: Editora Saraiva, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502220638/>. Acessado em: Mar. 2023.

MITSUTANI, C. **Compras estratégicas: construa parcerias com fornecedores e gere valor para seus negócios**. São Paulo: Editora Saraiva, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502226340/>. Acessado em: Mar. 2023.

NOGUEIRA, A. de S. **Logística Empresarial**, 2ª edição. São Paulo: Grupo GEN, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597015553/>. Acessado em: Mar. 2023.

OLIVEIRA, T. **Gestão de estoque: estudo de caso em uma empresa do ramo de varejo no município de nossa senhora do socorro/se**. 2022. p. 45. Trabalho de Conclusão de Curso – Fanese, Aracaju, 2023.

PAOLESCHI, B. **Almoxarifado e gestão de estoques**. São Paulo: Editora Saraiva, 2019. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536532400/>. Acessado em: Mar. 2023.

RENO, R. Série Provas & Concursos - **Administração Geral para Concursos**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2021. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788530992729/>. Acessado em: Mar. 2023.

TADEU, H. F. B. **Gestão de estoques: fundamentos, modelos matemáticos, e melhores práticas aplicadas**. São Paulo: Cengage, 2010.

BOWERSOX, D. J. *et al.* **Gestão logística da cadeia de suprimentos**. Porto Alegre: Grupo A, 2014. E-book. ISBN 9788580553185. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580553185/>. Acessado em: Mar. 2023.

CAPÍTULO 4

UMA APLICAÇÃO DO MODELO SARIMA PARA PREVER O NÚMERO DE NOTIFICAÇÕES DE DENGUE NA REGIÃO DE PARANAÍ - PARANÁ

Gabriel Manoel da Silva
Eduardo dos Santos Zdepski
Camila Celestrino de Castro
Franchesco Sanches dos Santos
Marcos Vinicius de Oliveira Peres

RESUMO

Dentre as diversas doenças de áreas tropicais e subtropicais, a dengue está em destaque entre elas. Considerando esse fato, nesse estudo que surgiu a partir de um projeto de ensino dentro do curso de matemática da Universidade Estadual do Paraná – *campus* de Paranavaí, buscou-se modelar o número de notificações de casos de dengue na região de saúde de Paranavaí - Paraná. Para realizar a modelagem foi considerado as abordagens tradicionais das séries de tempo em dados com sazonalidade, por meio dos modelos SARIMA. Diversos parâmetros foram considerados para o modelos SARIMA e testado sua aderência aos dados, tal que, uma modelo melhor se ajustou. Considerando esse modelo, comparações de previsões com dados reais foram realizadas, e assim, verificou-se que o modelo encontrando é útil para fazer a previsão do número de notificações de casos de dengue na região de saúde de Paranavaí.

PALAVRAS-CHAVE: Box-Jenkins. Previsão. Software R. Séries Temporais. UNESPAR.

1. INTRODUÇÃO

A dengue é uma das principais doenças para a saúde pública em áreas tropicais e subtropicais do mundo. A dengue é uma doença viral transmitida principalmente pelo mosquito *Aedes aegypti*, que é mais comum em regiões tropicais e subtropicais. Ela é caracterizada por febre alta, dores de cabeça e no corpo, náuseas, vômitos e manchas vermelhas na pele. Em casos mais graves, pode levar à dengue hemorrágica, que pode ser fatal. A quantidade média de casos de dengue no mundo varia de ano para ano e de região para região. Segundo a Organização Mundial da Saúde e Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS, 2020), estima-se que haja cerca de 390 milhões de casos de dengue a cada ano no mundo, sendo que cerca de 96 milhões de casos manifestam sintomas clínicos da doença. No entanto, esses números podem variar bastante de acordo com fatores como clima, urbanização, densidade populacional e a presença do mosquito transmissor. É importante destacar que a dengue é uma doença endêmica em muitos países tropicais e subtropicais, e que medidas de prevenção e controle são fundamentais para minimizar sua incidência e impacto na saúde pública.

Existe na literatura diversas ferramentas matemáticas e estatísticas que podem serem utilizados para descrevem e compreender a dinâmica da dengue. Uma dessas ferramentas são

os Modelos de Séries Temporais. Segundo Morettin e Tolo (2006), uma série temporal é qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo. Modelos de séries temporais são modelos estatísticos utilizados para analisar e prever padrões e tendências em dados que variam ao longo do tempo. Esses modelos são amplamente utilizados em diversas áreas, como finanças, economia, engenharia, biologia, entre outras, para prever comportamentos futuros com base em padrões históricos. Os modelos de séries temporais geralmente levam em consideração fatores como sazonalidade, tendências, efeitos de eventos externos e autocorrelação dos dados, entre outros, para criar previsões e estimativas precisas.

Dentre os modelos de séries temporais, um modelo de destaque é o SARIMA. O modelo SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average - Autorregressivo Integrado de Médias Móveis Sazonal) é uma classe de modelos de previsão de séries temporais que estendem o modelo ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average - Autorregressivo Integrado de Médias Móveis) para lidar com dados sazonais. Ele é usado para modelar e prever séries temporais com padrões sazonais que se repetem regularmente ao longo do tempo, ou seja, quando os dados apresentam flutuações regulares em intervalos de tempo fixos. Os parâmetros do modelo SARIMA são estimados a partir dos dados históricos da série temporal. A partir daí, o modelo pode ser usado para fazer previsões futuras, que serão influenciadas tanto pelos padrões de longo prazo quanto pelos padrões sazonais da série.

Esse trabalho surgiu durante um estudo de um projeto de ensino realizado pelo Colegiado de Matemática da Universidade Estadual do Paraná, *campus* de Paranavaí. Ao estudar sobre modelagem de séries de tempos com sazonalidade, foi considerado os dados locais sobre o número de notificações de casos de dengue na regional de saúde de Paranavaí. Com intuito de aprender, praticar e interpretar as técnicas de modelagem de séries temporais considerando um modelo SARIMA e o uso da metodologia proposta por Box & Jenkins, elaborou-se esse trabalho e os resultados são apresentados no decorrer no texto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A cidade de Paranavaí é a maior cidade da região noroeste do estado do Paraná, no Brasil, possui uma população de cerca de 90 mil habitantes (IBGE, 2023). O clima predominante em Paranavaí e região é o subtropical úmido, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano e temperaturas amenas. Durante o verão, a temperatura média é de cerca de 25°C, com máximas que podem chegar a 30°C ou mais. Já no inverno, as temperaturas ficam em torno

de 15°C, com mínimas que podem chegar a 5°C ou menos em alguns dias (WEATHER SPARK, 2023). Veja na Figura 1, a localização da cidade de Paranavaí.

Figura 1: Localização de Paranavaí no Paraná, Brasil.



Fonte: Abreu (2006).

A regional de saúde de Paranavaí é constituída pelos 28 municípios do Noroeste do Paraná, possuindo uma população total aproximada de 250.000 habitantes (veja a Figura 2). Nomeada de 14º Regional de Saúde do estado, sendo uma instância administrativa intermediária da Secretaria de Estado da Saúde (SESA) e as Secretarias Municipais de Saúde dos municípios.

Figura 2: Mapa de abrangência da Regional de Saúde de Paranavaí.



Fonte: SESA (2020).

O número mensal de caso notificados de dengue na regional de Saúde de Paranavaí foi obtido do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) dos registro de dengue pertencentes ao DATASUS do Ministério da Saúde, podendo ser consultado gratuitamente em DATASUS (2022). O conjunto de dados foi separado em duas partes: os dados mensais

observados de notificações de janeiro de 2010 a dezembro de 2020, que foram usados para desenvolver o modelo de série temporal, e os dados mensais de notificações do ano de 2021, que foi usado para validar o modelo. Veja na Tabela 1, os dados completos do número mensal de notificações de dengue na regional de Saúde de Paranavaí no período de janeiro de 2010 até dezembro de 2021.

Tabela 1: Número de notificações mensais na regional de saúde de Paranavaí, 2010-2021.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2010	22	85	277	405	276	27	17	4	3	1	1	1	1119
2011	6	6	39	74	44	11	1	0	2	1	2	1	187
2012	2	2	56	42	57	20	0	1	1	3	37	239	460
2013	2001	5333	4953	2880	1194	238	71	13	14	14	37	100	16848
2014	799	905	572	766	575	137	54	34	56	101	56	63	4118
2015	651	867	1071	992	339	147	17	16	17	18	13	27	4175
2016	81	122	152	98	28	7	4	2	1	4	12	5	516
2017	9	9	17	8	3	1	5	6	2	11	8	5	84
2018	7	7	5	10	6	7	10	4	6	10	5	7	84
2019	22	44	254	1055	994	521	227	81	96	246	679	2187	6406
2020	6654	7159	3674	1657	621	218	57	27	36	26	59	76	20264
2021	62	126	224	267	138	32	12	14	20	25	15	23	958

Fonte: Autoria própria (2023).

A técnica desenvolvida por Box e Jenkins (1970) possibilita a previsão de valores futuros de uma série apenas com base em seus valores anteriores e presentes. Esses modelos são conhecidos como modelos autorregressivos integrados de médias móveis ou ARIMA, sendo que composto de três componentes: a componente autoregressiva (AR), a componente de média móvel (MA) e a componente de diferenciação (I). Quando consideram relações sazonais, são denominados SARIMA. Considerando uma série temporal $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, um modelo SARIMA com S observações por período é denotado por $SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_S$ e pode ser representado da seguinte maneira:

$$\phi(L)\Phi(L^S)(1-L)^d(1-L^S)^D y_t = \theta(L)\Theta(L^S)\varepsilon_t$$

Onde:

- p é a ordem do polinômio autorregressivo não sazonal, $\phi(L) = (1 - \phi_1 L - \phi_2 L^2 - \dots - \phi_p L^p)$;
- P é a ordem do polinômio autorregressivo sazonal, $\Phi(L) = (1 - \Phi_1 L^S - \Phi_2 L^{2S} - \dots - \Phi_P L^{PS})$;
- q é a ordem do polinômio de médias móveis não sazonal $\theta(L) = (1 - \theta_1 L - \theta_2 L^2 - \dots - \theta_q L^q)$;

- Q é a ordem do polinômio de médias móveis sazonal $\Theta(L) = (1 - \Theta_1 L^S - \Theta_2 L^{2S} - \dots - \Theta_Q L^{QS})$;
- d é a ordem da diferença não sazonal;
- D é a ordem da diferença sazonal;
- L é a operador de defasagem temporal (lag), dado por $L^k = y_{t-k}/y_t$; e
- ε_t são os erros assumidos como variáveis independentes e identicamente distribuídas provenientes de uma distribuição com uma média igual a zero e a variância σ^2 .

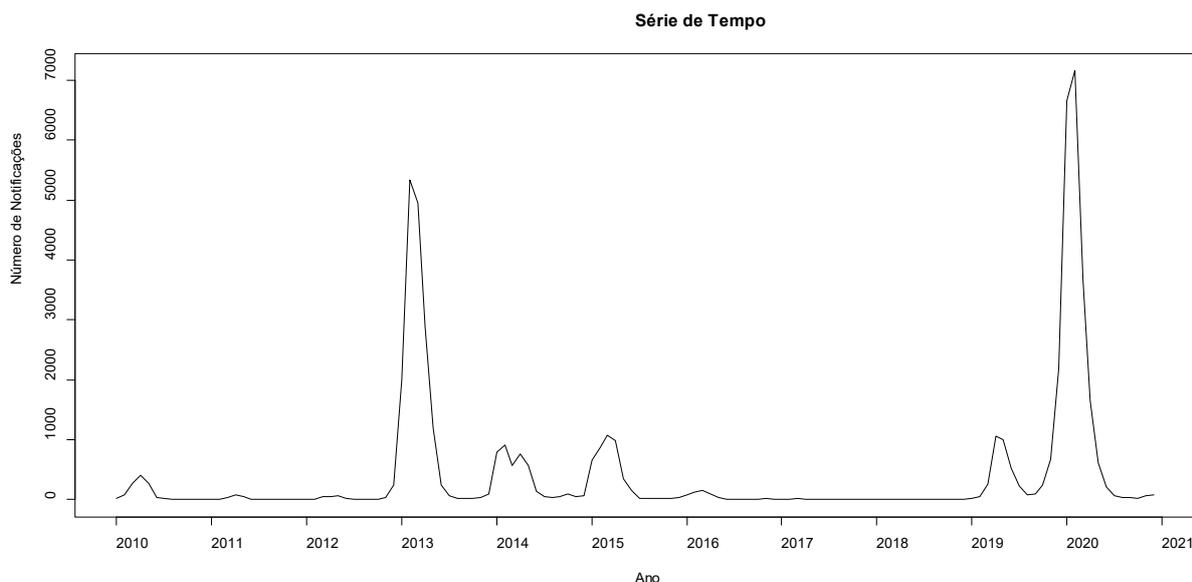
Veja que os componentes Sazonal AR e Sazonal MA são semelhantes ao AR e MA, mas modelam a dependência em relação a valores passados sazonais. Em outras palavras, elas consideram a sazonalidade dos dados e adicionam um componente de dependência que leva em conta o mesmo período de tempo da sazonalidade. A parte AR captura a dependência entre os valores passados da série, a parte MA captura a dependência entre os resíduos passados e a parte I é usada para diferenciar a série, a fim de torná-la estacionária.

No presente artigo, foi utilizado o software estatístico R (R CORE TEAM, 2022) para ajustar modelos SARIMA ao número de notificações de casos de dengue na regional de saúde de Paranavaí entre 2010 e 2021, considerando a abordagem de modelagem Box-Jenkins (BOX; JENKINS, 2008). A adequação de cada modelo foi verificada por meio de gráficos de séries temporais, de histograma e autocorrelação (ACF) dos resíduos padronizados e pelo teste de Ljung-Box, que é um teste para hipóteses de ausência de correlação em um número especificado de defasagens temporais (LJUNG; BOX, 1978). O critério de informação de Akaike (AIC) foi considerado para comparar a qualidade de ajuste de diferentes modelos (AKAIKE, 1974). Em adicional também se utilizou os valores da raiz do erro quadrático médio (RMSE, root mean square error) e valores do erro absoluto médio (MAE, mean absolute error). Os valores de AIC, RMSE e MAE menores indicam melhor ajuste.

3. RESULTADOS

A Figura 3 mostra o número de notificações dos casos de dengue na região de Paranavaí, entre 2010 até 2021. É possível observar que desse períodos houve alguns momentos de baixa notificações (dois ou três anos), seguidos de momentos de altas notificações (dois ou três anos). Destacando em especial os anos de 2013 e 2020, em que houve uma incidência muito grande no número de notificação de casos. Considerando a Tabela 1 e a Figura 3, os meses de março e abril são particularmente os meses com os maiores números de notificações de casos de dengue na regional de saúde de Paranavaí.

Figura 3: Número de notificações dos casos de dengue na região de Paranavaí.

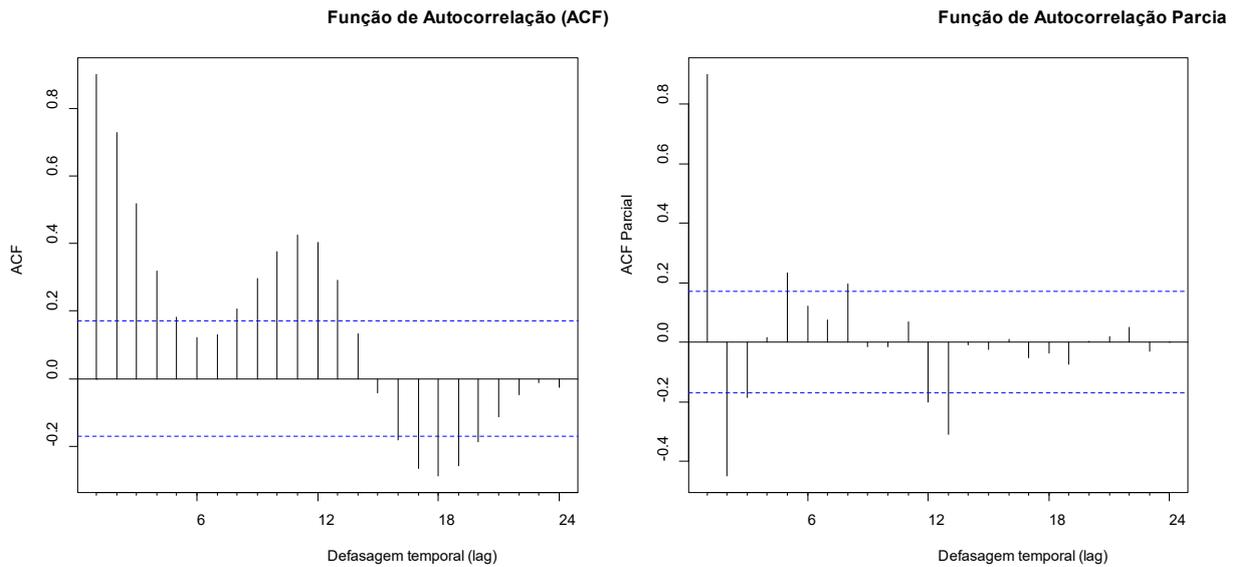


Fonte: Autoria própria (2023).

Buscando induzir uma variância constante aos dados, foi aplicado uma transformação logaritmo nos dados exibidos na Tabela 1 e na Figura 3. Considerando um gráfico da série temporal aplicado a transformação logarítmica (não mostrado aqui), observa-se que a série ainda não é estacionária. Dessa forma, para obter uma série mais estacionária foi aplicado uma primeira diferenciação simples. Após, essa primeira diferenciação foi verificada que a série aparenta estar estacionária na média, então no modelo SARIMA $d = 1$.

A Figura 4 mostram os gráficos da função de autocorrelação estimada (ACF) e função de autocorrelação parcial (PACF) da série transformada pelo logaritmo usando dados de 2010 a 2020. Note que a ACF da série transformada exibe uma periodicidade de comprimento próximo de 12 meses, assim $S = 12$. Esse fato é esperado, pois a incidência de dengue apresenta um ciclo sazonal. O PACF sugere que p deve ser igual a 2 ou 1, uma vez que as autocorrelações parciais são próximas de zero em todos os lags que excedem 2, e ainda, a ACF sugere uma média móvel de ordem q igual a 2 ou 3, uma vez que suas autocovariâncias estão próximas de zero em lags que excedem 3. Além disso, considerando o comportamento sazonal na ACF há aqui uma sugestão uma média móvel sazonal Q de ordem 1. Contudo, buscando obter um melhor ajuste também foi testado $Q = 2$. Em adicional, notou-se na PACF uma correlação distante do 0 próximo do lag 1, assim, foi considerando no modelo SARIMA $P = 1$.

Figura 4: Funções de autocorrelação e autocorrelação parcial para a série transformada pelo logaritmo.



Fonte: Autoria própria (2023).

Ao obter as estimativas dos modelos SARIMA foram encontrados problemas de convergência ao usar $D = 0$, além disso, foi possível observar que resultados melhores eram obtidos quando $D = 1$. Isso é, quando aplicado uma diferença sazonal nos dados transformados houve uma melhor convergência e melhores resultados, do que quando não aplicado a diferença sazonal. Portanto, considerando que uma diferença sazonal de 1 foi suficiente, foi fixado que $D = 1$. A Tabela 2 mostra os valores para os critérios de seleção e as estimativas para a variância σ^2 dos erros dos modelos SARIMA ajustados a série transformado considerando diferentes parâmetros. O modelo com os menores valores nos critérios de seleção para este conjunto de dados é o modelo com melhor ajuste, foi o $SARIMA(2,1,3)(1,1,2)_{12}$.

Tabela 2: Critérios de seleção para diferentes modelos $SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s$ e estimativas de σ^2 .

Modelo SARIMA	AIC	σ^2	RSME	MAE
$(2,1,3)(1,1,2)_{12}$	291.61	0.4693	0.6504	0.4942
$(2,1,2)(1,1,2)_{12}$	292.94	0.4834	0.6601	0.4947
$(2,1,3)(1,1,1)_{12}$	297.41	0.5192	0.6841	0.5202
$(2,1,2)(1,1,1)_{12}$	303.72	0.5554	0.6841	0.5202
$(1,1,3)(1,1,2)_{12}$	295.72	0.4931	0.6667	0.4943
$(1,1,2)(1,1,2)_{12}$	295.42	0.4869	0.6625	0.4935
$(1,1,3)(1,1,1)_{12}$	301.07	0.5452	0.7010	0.5260
$(1,1,2)(1,1,1)_{12}$	300.97	0.5531	0.7061	0.5323

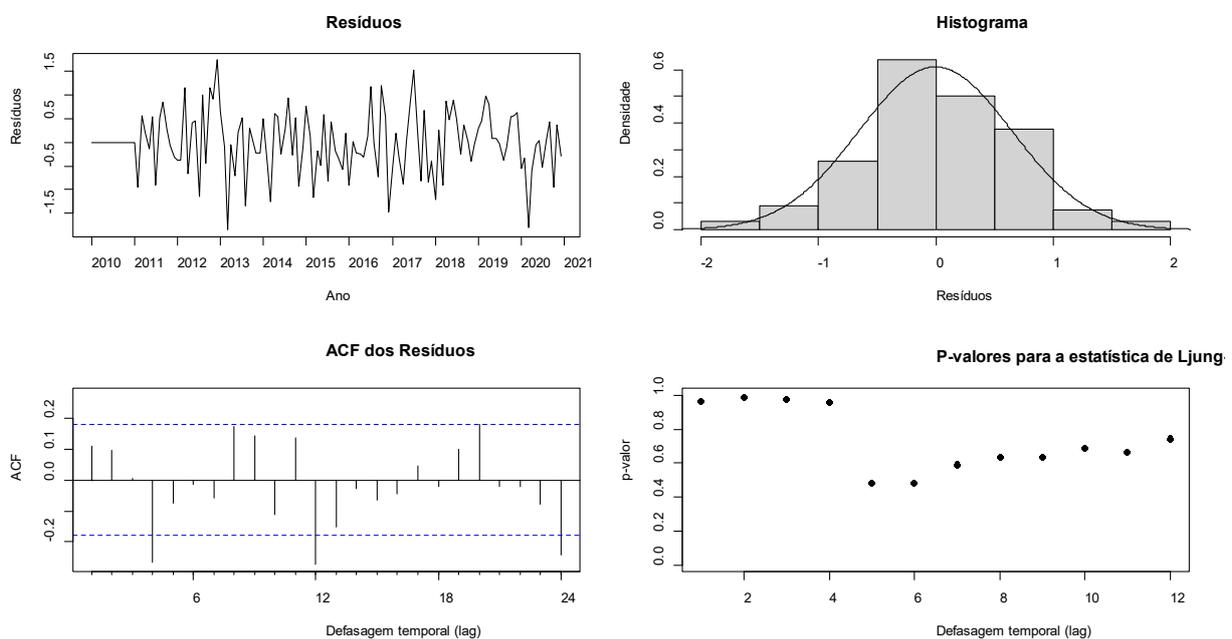
Fonte: Autoria própria (2023).

Considerando o modelo escolhido, os parâmetros autorregressivos ϕ_1 e ϕ_2 foram estimados em -0.8998 (erro padrão, 0.1144) e -0.8136 (0.1441), respectivamente, e os

parâmetros de média móvel θ_1 , θ_2 e θ_3 foram estimados em -1.0609 (0.1358), 1.0862 (0.1277) e 0.2739(0.0938), respectivamente. O componente autorregressivo sazonal Φ_1 foi estimado em -0.6251(0.1034). E os com omentos de médias móveis sazonais Θ_1 e Θ_2 foram estimados em 0.1098(0.2143) e -0.8898(0.2070), respectivamente. Apesar de obter um alto erro padrão em Θ_1 , esse parâmetro é importante para a modelagem, isso pode ser colaborado pelos resultados exibidos na Tabela 2.

A Figura 5 mostra os gráficos de diagnósticos para os resíduos do modelo. É possível notar que os resíduos padronizados estimados a partir deste modelo se comportam como uma sequência independente e identicamente distribuída com média zero e variância constante. O histograma mostra que os resíduos padronizados para o modelo se aproximaram de uma distribuição normal (afirmação colaborada pelo teste de Shapiro-Wilk, p-valor = 0,4709). O ACF dos resíduos sugere que as autocorrelações estão próximas de zero, como desejado. Por fim, os altos valores-p para a estatística de Ljung-Box, indica que não há indicativos para rejeitar a hipótese nula de independência nessa série residual. Portanto, é possível dizer que o modelo $SARIMA(2,1,3)(1,1,2)_{12}$ se ajusta adequadamente aos dados.

Figura 5: Gráficos de diagnósticos para os resíduos do modelo $SARIMA(2,1,3)(1,1,2)_{12}$.



Fonte: Autoria própria (2023).

A Tabela 3 mostra os valores preditos fora da amostra para 2021 considerando o modelo $SARIMA(2,1,3)(1,1,2)_{12}$ e os valores observados do número de notificações de dengue na regional de saúde de Paranaíba. Os valores preditos estão relativamente próximos aos valores

observados. Apesar de alguns valores ficarem discrepantes, este resultado indica que o modelo fornece um ajuste aceitável para prever o número de notificações de dengue.

Tabela 3: Valores observados e preditos para o número de notificações de casos de Dengue na regional de saúde de Paranavaí.

2021	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Observado	62	126	224	267	138	32	12	14	20	25	15	23	958
Predito	170	218	129	97	59	17	6	4	5	5	9	8	727

Fonte: Autoria própria (2023).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a proposta desse estudo em aplicar as ferramentas clássicas de séries temporais em um conjunto de dados com sazonalidade, é possível dizer que os resultados foram satisfatórios. Durante esse estudo os alunos se dedicaram em revisar conceitos que eles ainda não tinham familiaridade, demonstrando interesse nos conceitos e compreendendo a importância de estudar e modelar as séries de tempo. Para o conjunto de dados estudado, o modelo $SARIMA(2,1,3)(1,1,2)_{12}$ refletiu bem a tendência na incidência do número de notificações de dengue na regional de saúde de Paranavaí. Mostrou-se nesse trabalho que o número de casos de dengue em um determinado mês pode ser estimado pelo número de casos de dengue ocorridos 1, 2 ($p = 2$) e 12 ($S = 12, P = 1$) meses antes, e ainda se descobriu que um componente de média móvel de ordem q igual a 3 é adequado para os dados. Quando usado este modelo para produzir previsões fora da amostra utilizado para estimar o modelo, observou-se que o modelo SARIMA foi capaz de representar o número de casos em um ano subsequente com relativa precisão. E por fim, ressalta-se a importância de permitir que os alunos dos cursos de Licenciatura em Matemática, conheçam e experimente ferramentas diferentes daquelas que são comuns em sua graduação, buscando expandir o conhecimento matemático e suas aplicações práticas.

REFERÊNCIAS

ABREU, R. L. **Map locator of Paraná's Paranavaí city**. 2006. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Parana_Municip_Paranavai.svg. Acessado em: Mar. 2023.

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE transactions on automatic control**, [S.l.], v. 19, n. 6, p. 716-723, 1974. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>. Acessado em: Mar. 2023.

BOX, G.; JENKINS, G. **Time series analysis: Forecasting and control**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 2008.

DATASUS. Sistema de Informação de Agravos de Notificação - TabNet: **Dengue - Casos Confirmados Notificados no Brasil**. 2022. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sinannet/cnv/denguebbr.def>. Acessado em: Mar. 2023.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Paranavaí - PR. 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/paranavai/panorama>. Acessado em: Mar. 2023.

LJUNG, G. M.; BOX, G. E. P. On a measure of lack of fit in time series models. **Biometrika**, [S.l.], v. 65, n. 2, p. 297-303, 1978. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/biomet/65.2.297>. Acessado em: Mar. 2023.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de series temporais**. 2. ed. São Paulo: Blücher, 2006.

SESA. **Secretaria de Estado da Saúde do Paraná**. 14ª Regional de Saúde - Paranavaí. 2020. Disponível em: <https://www.saude.pr.gov.br/Pagina/14a-Regional-de-Saude-Paranavai>. Acessado em: Mar. 2023.

OPAS. **Organização Pan-Americana da Saúde**. Dengue. 2020. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/topicos/dengue>. Acessado em: Mar. 2023.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, 2022. Disponível em: <https://www.r-project.org>. Acessado em: Mar. 2023.

WEATHER SPARK. **Clima e condições meteorológicas médias em Paranavaí no ano todo**. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/29639/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Paranava%C3%AD-Brasil-durante-o-ano>. Acessado em: Mar. 2023.

CAPÍTULO 5

SUPORTES POROSOS PARA IMOBILIZAÇÃO DA ENZIMA FTASE: *REVIEW*

Jéssica Barbosa Fanis
Sylma Carvalho Maestrelli

RESUMO

Os frutooligossacarídeos (FOS) são conhecidos por serem açúcares mais saudáveis quando comparados aos açúcares amplamente comercializados tendo em vista o seu baixo valor calórico, sua segurança de consumo aos diabéticos e sua atuação como prebiótico, proporcionando uma série de benefícios à saúde e nutrição humana, como o aumento da flora bacteriana intestinal, a diminuição dos níveis de colesterol e triglicerídeos e a melhora do sistema imunológico. Os FOS são compostos de origem natural e podem ser encontrados, embora em baixa concentração, em diversas espécies vegetais, o que inviabiliza a sua produção e comercialização em larga escala e estimula a busca por técnicas alternativas da sua produção nos setores alimentício e farmacêutico. Diante desse cenário, enzimas como a frutotransferase (FTase, E.C. 2.4.1.9), de *Aspergillus oryzae* IPT-301 podem catalisar a reação de transfrutoseilação da sacarose para produção de FOS; contudo, o tempo de meia vida dessas enzimas extracelulares é curto e acaba comprometendo a produção de FOS em larga escala. Sendo assim, a imobilização dessas enzimas em suportes inertes e insolúveis é uma das maneiras de aumentar a sua estabilidade. Tais suportes atuarão como uma barreira protetora diante de condições adversas do meio reacional, contribuindo para o aumento do tempo de meia vida das enzimas e aumentando seu potencial de reuso. Além disso, a imobilização de enzimas permite a sua aplicação em processos contínuos, fator que implica diretamente na redução dos custos operacionais e no aumento da produtividade do processo. Para o bom desempenho da enzima imobilizada, deve-se considerar as características do suporte utilizado, tais como estabilidade química, resistência mecânica, retenção da atividade enzimática inicial, durabilidade e capacidade de reutilização, custo e facilidade de manuseio, além de outras. Este trabalho teve como objetivo fazer um *review* da literatura dos suportes inertes porosos para imobilização, por adsorção, de enzimas FTases extracelulares microbianas, abrangendo desde os materiais utilizados, bem como seu processamento, propriedades e sua aplicabilidade potencial como material de suporte das FTases para a reação de transfrutoseilação da sacarose.

PALAVRAS-CHAVE: FOS. Suporte Enzimático. Catálise Heterogênea. Materiais Porosos.

1. INTRODUÇÃO

A constante busca pela implementação de alternativas sustentáveis no meio industrial, que condizem com os critérios estabelecidos pela Química Verde, em conjunto com a necessidade de obtenção de produtos específicos, tornam a implementação da tecnologia enzimática uma possibilidade cada vez mais atrativa às companhias (DENTI, 2021).

Devido às suas excelentes propriedades funcionais, as enzimas são capazes de catalisar processos químicos considerados complexos sob condições experimentais e ambientais mais favoráveis (GUISAN, 2006). Contudo, embora as enzimas se destaquem por sua atuação dentro da área de catálise, elas apresentam algumas características que não são tão adequadas para aplicações industriais, uma vez que atuam como catalisadores solúveis, geralmente instáveis e que podem ser facilmente inibidos por substratos e/ou produtos. Dessa forma, antes das enzimas

serem aplicadas em processos industriais, elas são tratadas de forma a garantir a melhor eficiência de suas propriedades na hora de sua aplicação.

Sendo assim, a imobilização se torna uma etapa crucial para o uso de enzimas na indústria. Partindo dessa premissa, muitos pesquisadores têm focado em compreender e controlar a imobilização de enzimas a fim de utilizar esse processo como uma poderosa ferramenta capaz de melhorar as propriedades enzimáticas, tais como estabilidade, atividade, seletividade, redução de inibições, entre outros (BARBOSA *et al.*, 2013).

Atualmente existe uma gama bastante diversificada de protocolos de imobilização enzimática que se diferenciam, basicamente, quanto ao tipo de suporte e sua eficiência. Todavia, ainda não há nenhum método ou suporte de imobilização que consiga ser unicamente aplicável a todas as enzimas conhecidas, sendo necessária a realização de um estudo prévio acerca das características do suporte e dos efeitos dos métodos empregados para a seleção da melhor técnica a ser utilizada em cada caso. De um modo geral, busca-se sempre pelo procedimento mais simples e barato.

Os principais componentes de um sistema enzimático imobilizado são: enzima, suporte e modo de fixação. A maior contribuição para o bom desempenho da enzima imobilizada advém do suporte e, embora existam diferentes materiais que possam ser aplicados na imobilização enzimática, a sua escolha dependerá, fundamentalmente, das características peculiares da enzima e das condições de uso da biomolécula imobilizada (SOUZA *et al.*, 2016).

Os suportes podem ser classificados quanto à sua composição química de origem (em materiais orgânicos e inorgânicos) e/ou quanto à sua morfologia (em materiais porosos, não porosos e de estrutura em gel). Para que um material seja considerado adequado ao uso como suporte, é necessário que ele compreenda alguns requisitos básicos, tais como elevada área superficial, permeabilidade, biocompatibilidade, estabilidade química e mecânica sob condições operacionais, capacidade de regeneração, morfologia e composição, hidrofobicidade ou hidrofobicidade, resistência ao ataque microbiano e disponibilidade a baixo custo (SOUZA *et al.*, 2016; BRENA; VIERA, 2006).

O diâmetro médio e tipos de poros, bem como o tamanho médio das partículas são os principais fatores que determinam a área superficial específica e, dessa forma, afetam diretamente na capacidade de ligação das enzimas. Assim, suportes porosos são capazes de reter uma maior carga de enzima em decorrência de sua maior área superficial quando comparado a suportes não porosos, permitindo também que a enzima imobilizada receba uma maior proteção

do ambiente onde estará inserida. Ressalta-se ainda que os suportes porosos devem ter uma distribuição de poros controlada para otimizar a capacidade e as propriedades de fluxo (BRENA; VIERA, 2006).

Os materiais orgânicos, com destaque aos polímeros, compõem uma classe de suportes de suma importância para a imobilização enzimática. Se por um lado os polímeros sintéticos possuem uma ampla variedade de formas físicas e estruturas químicas a ser combinadas de acordo com as características desejadas, os polímeros naturais são geralmente mais acessíveis financeiramente e mais facilmente degradáveis, sendo a opção ambientalmente mais favorável (SOUZA *et al.*, 2016). Em consequência disso, os suportes porosos formados por matrizes orgânicas são preferidos para aplicações industriais.

Dessa forma, o presente estudo busca fazer um *review* acerca dos suportes porosos utilizados para imobilização enzimática com enfoque na enzima frutossiltransferase (FTase) para a catalisação das reações de transfrutossilacção da sacarose para produção de frutooligossacarídeos (FOS).

Para isso, foi necessário entender o consumo de açúcar na sociedade moderna e a busca da população por alimentos funcionais, em seguida expor as formas de produção dos FOS por meio das enzimas FTase e, com isso, determinar as características dos potenciais suportes a serem utilizados na imobilização das FTases.

2. JUSTIFICATIVA

De forma semelhante ao que ocorre com o álcool, o tabaco e outras drogas, o alto consumo de açúcares e demais alimentos de alto índice calórico tem contribuído fortemente para o desenvolvimento e/ou intensificação de problemas metabólicos, tais como obesidade, diabetes, hipertensão e problemas cardiovasculares. Isso fez com que a sociedade desenvolvesse uma significativa preocupação no que se refere a qualidade de vida e a saúde, acarretando um aumento do cuidado acerca dos alimentos que consomem (PASSOS; PARK, 2003).

Diante da procura dos consumidores por alimentos funcionais, os FOS se mostram como uma alternativa mais saudável e menos calórica aos açúcares tradicionalmente utilizados na dieta humana. Estes oligômeros de frutose têm se destacado tanto na indústria farmacêutica quanto na alimentícia, uma vez que se tratam de açúcares prebióticos, que proporcionam uma série de benefícios à saúde e nutrição humana, como o aumento da flora bacteriana intestinal, a diminuição dos níveis de colesterol e triglicerídeos e a melhora do sistema imunológico como

um todo (PASSOS; PARK, 2003; ROCHA *et al.*, 2021). Assim sendo, o desenvolvimento de tecnologias que permitam a obtenção de açúcares mais saudáveis (como é o caso do FOS) em larga escala é de suma importância para a sociedade atual. A relevância deste trabalho está associada à coleta de informações sobre suportes que viabilizem a imobilização e prolonguem o tempo de meia vida de enzimas FTase, responsáveis pela produção do FOS.

O desenvolvimento de suportes de menor custo, inertes, insolúveis, quimicamente estáveis, reutilizáveis, que sejam reprodutíveis em escala industrial e que tenham compatibilidade com as enzimas FTase proporcionará maior velocidade de produção dos FOS, fazendo com que o mesmo se torne comercialmente e economicamente viável, acelerando o setor que mais vem ganhando forças entre os brasileiros: o dos alimentos saudáveis, que atingiu a marca de R\$100 bilhões em vendas no país no ano de 2020, segundo a Euromonitor Internacional (CNN BRASIL, 2021). Assim, o levantamento bibliográfico dentro da temática apresentada será importante para o desenvolvimento e amplitude do conhecimento acerca dos materiais porosos com aplicação biotecnológica, mais especificamente como suporte para a imobilização de enzimas aplicáveis na produção de biomoléculas de alto valor agregado e de interesse comercial.

3. A SOCIEDADE MODERNA E O CONSUMO DE AÇÚCAR

Mudanças nos hábitos alimentares têm sido observadas nas últimas décadas ao redor de todo o mundo, revelando a complexidade dos modelos de consumo e seus fatores determinantes (OLIVEIRA; THÉBAUD-MONY, 1997). Um assunto que vem sendo cada vez mais exposto em debates científicos é a alta ingestão de açúcar da população mundial considerando suas implicações à saúde humana, sobretudo no risco de obesidade (SLUIK *et al.*, 2016).

Estudos acerca das mudanças no padrão alimentar da população brasileira nos últimos anos destacam o aumento do consumo de carnes e alimentos industrializados e a redução do consumo de leguminosas, frutas e hortaliças (CLARO *et al.*, 2015). A corrida contra o tempo enfrentada pela sociedade moderna faz com que a população dê preferência ao consumo de alimentos rápidos, como os famosos *fast-foods* e demais refeições prontas que geralmente vêm acompanhadas de refrigerantes ou sucos industrializados, os quais apresentam alto índice calórico e uma elevada concentração de açúcares e derivados.

Partindo dessa realidade, é possível compreender um dos motivos pelo qual os brasileiros consomem cerca de 50% a mais de açúcar do que o recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Isso implica em um consumo diário médio de 80 gramas de açúcar

ao dia, o equivalente a 18 colheres de chá, sendo que o limite máximo aconselhado pela OMS para um adulto é de 12 colheres de chá do produto mencionado (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2022).

É notável que o excesso do consumo de açúcar o torna extremamente nocivo à saúde humana. Essa prática conciliada ao alto consumo de outros alimentos de elevado índice calórico contribuem consideravelmente para o aumento do risco de obesidade e propensão a doenças crônicas como diabetes, hipertensão e câncer. Em consequência disso, a sociedade moderna vem desenvolvendo uma preocupação cada vez mais nítida no que diz respeito à qualidade de vida e a saúde, trazendo um maior cuidado acerca dos alimentos consumidos.

A busca por alimentos funcionais que beneficiem a saúde humana para além de suas funções nutricionais básicas cresce diariamente. Diante disso, os FOS ganham destaque como uma excelente alternativa para os consumidores que prezam por uma alimentação mais saudável e menos calórica em substituição aos açúcares tradicionalmente utilizados na dieta humana.

4. A PRODUÇÃO DE FOS

Os frutooligossacarídeos, comumente nomeados como FOS, são açúcares não convencionais, não metabolizados pelo organismo humano e não calóricos (PASSOS; PARK, 2003). Por se tratarem de açúcares mais saudáveis se comparados aos açúcares amplamente comercializados (tendo em vista o seu baixo valor calórico, sua segurança de consumo aos diabéticos e sua atuação como prebiótico) e por apresentarem diversos benefícios à saúde e nutrição humana, os FOS estão se tornando alvo de interesse nas indústrias farmacêutica e alimentícia, com destaque na atuação como substitutos aos edulcorantes convencionais, o que torna necessário o desenvolvimento de processos em escala industrial que permitam a produção desses componentes.

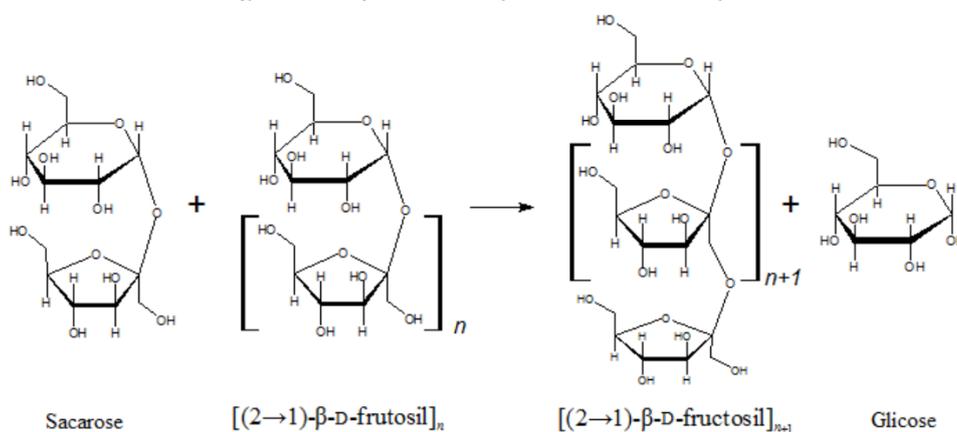
Os FOS são oligômeros de frutose formados por unidades frutose e que podem ser encontrados naturalmente, embora em pequenas quantidades, em alguns vegetais e frutas. Esses açúcares também podem ser obtidos pela ação catalítica de enzimas que exibem atividade de transfrutoseilação, utilizando sacarose como substrato (GONÇALVES, 2019). Dessa forma, a produção de FOS em escala industrial ocorre mediante reação de transfrutoseilação enzimática da sacarose.

As enzimas capazes de realizar tal ação de transfrutoseilação são, principalmente, as frutoseiltransferases e as β -frutofuranosidases. No entanto, as frutoseiltransferases (FTase, E.C.

2.4.1.9) ganham ainda mais destaque na produção dos FOS em decorrência da sua ação catalítica, exibindo altas atividades de transfrutoseilação (PASSOS; PARK, 2003).

A reação de transfrutoseilação ocorre quando a FTase se conecta na posição β (2 \rightarrow 1) da molécula de sacarose, clivando-a e separando o grupo frutose do grupo glicosil. Em seguida, o grupo frutose se conecta a uma molécula aceptora apropriada, como a sacarose ou outras moléculas de FOS, produzindo um oligômero de frutose e liberando glicose no meio reacional (ROCHA *et al.*, 2021), conforme Figura 1.

Figura 2: Esquema da reação de transfrutoseilação.



Fonte: Cunha (2017, p. 25).

A produção industrial de FOS é realizada, basicamente, através de dois processos produtivos distintos. O primeiro deles consiste em um processo composto de duas etapas, sendo estas divididas em um processo fermentativo e um processo enzimático, onde primeiramente as enzimas são produzidas por fermentação e, em seguida, são aplicadas de forma livre ou imobilizada na etapa reacional. Já o segundo processo consiste em apenas uma etapa, na qual são utilizadas células completas de determinado micro-organismo, em suspensão ou imobilizado, sendo os FOS produzidos concomitantemente ao processo fermentativo (CUNHA, 2017).

Tendo em vista que a produção de biomassa é limitada pelos requerimentos do micro-organismo e que as condições ótimas de crescimento podem não ser as mesmas condições ótimas de produção dos FOS, os processos que consistem de duas etapas são preferidos. Além disso, a fim de determinar as melhores condições reacionais para produção em larga escala é necessário compreender sobre os valores ideais de pH, temperatura, concentração de substrato, estabilidade frente ao pH e à temperatura e os parâmetros cinéticos da enzima de interesse, para só então utilizá-las com ou sem ajustes mínimos para que a reação ocorra (CUNHA, 2017).

A temperatura operacional de produção de FOS pelo uso de FTase microbiana varia entre 50 e 60 °C, faixa na qual a viscosidade da solução altamente concentrada de sacarose é baixa o suficiente para não interferir na reação e influenciar de forma favorável na taxa de reação enzimática. Por outro lado, o pH ótimo da produção depende da fonte enzimática: para FTases isoladas a partir de alcachofras de Jerusalém, o pH ótimo está entre 3,5 e 5; para aquelas isoladas a partir de *Aspergillus oryzae* o pH ótimo se encontra entre 8 e 9; contudo, a maioria das FTases possuem faixa ótima de pH entre 5 e 6,5 (CUNHA, 2017). Logo, o ideal é realizar o melhor ajuste entre as condições reacionais citadas acima em acordo com o requerimento de cada produto desejado, atingindo as condições ótimas do processo de produção.

5. IMOBILIZAÇÃO ENZIMÁTICA: CARACTERÍSTICAS E MÉTODOS

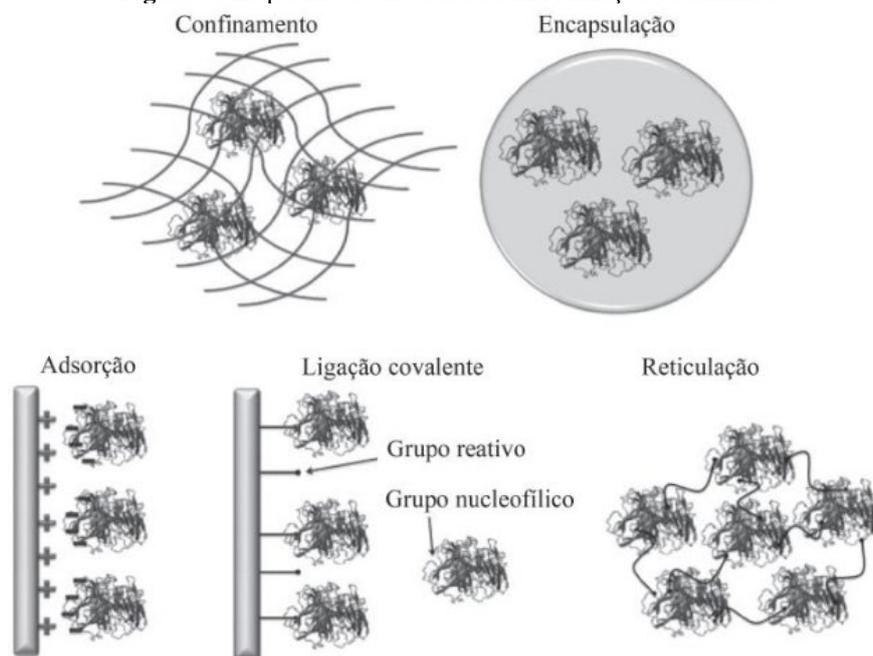
O uso de enzimas em sua forma livre apresenta diversos problemas que se relacionam à baixa estabilidade operacional, seus elevados custos, à impossibilidade de reutilização da enzima e à dificuldade na recuperação dos produtos (GONÇALVES, 2019). Tais desvantagens tendem a dificultar a produção em larga escala e, conseqüentemente, a comercialização dos produtos enzimáticos. Todavia essas inconveniências podem ser amenizadas com o uso de diferentes técnicas de imobilização enzimática.

Imobilização é um termo genérico utilizado para descrever a retenção de uma biomolécula no interior de um reator ou de um sistema analítico. Para o caso das enzimas, a imobilização consiste no confinamento da proteína em um suporte sólido insolúvel em meio aquoso e em solventes orgânicos (SOUZA *et al.*, 2016), a qual pode ser usada de forma isolada ou em combinação com outras técnicas de estabilização de proteínas.

O principal interesse acerca da imobilização enzimática se encontra no alcance de biocatalisadores com atividade e estabilidade operacional que sejam pouco ou nada afetados durante o processo no qual as enzimas serão inseridas e que proporcionem o máximo de reutilização da enzima diante dos parâmetros que podem inativá-las, como temperatura do meio reacional, pH, solventes orgânicos e demais interferências, cooperando positivamente com o meio ambiente e otimizando ao máximo a produção industrial (QUEISSADA; SILVA, 2020).

As enzimas podem ser imobilizadas por diferentes métodos, dentre os quais Fernández-Fernández *et al.* (2013) classificam como: confinamento, encapsulação, adsorção, ligação covalente e reticulação (Figura 2).

Figura 3: Esquema dos métodos de imobilização de enzimas.



Fonte: Adaptado de Fernández-Fernández *et al.* (2013, p. 1812-1813).

A seleção do método ideal de imobilização para determinada aplicação deve ser baseada em parâmetros como atividade global do biocatalisador, características de regeneração e inativação, custo do procedimento de imobilização, toxicidade dos reagentes de imobilização, estabilidade operacional, propriedades hidrodinâmicas e características finais desejadas para a enzima imobilizada (SOUZA *et al.*, 2016).

6. SUPORTES POROSOS PARA PRODUÇÃO DE FOS: CARACTERÍSTICAS

A imobilização enzimática carrega consigo alguns benefícios e/ou vantagens diante do uso de enzimas livres nos quais se incluem o aumento da estabilidade operacional, a capacidade de implementação de processos enzimáticos contínuos, a possibilidade de recuperação e reutilização dos biocatalisadores, a redução dos custos operacionais e a ausência de biocatalisador na corrente de produto devido à facilidade na separação e seleção dos mesmos (GONÇALVES, 2019; SOUZA *et al.*, 2016).

É importante ressaltar que, embora atualmente exista uma gama bastante diversificada de protocolos para imobilização enzimática, nenhum método ou suporte é unicamente aplicável a todas as enzimas conhecidas. Dessa forma, se faz necessário um estudo prévio acerca das características do suporte que se tem interesse e dos efeitos dos métodos empregados para a seleção da melhor técnica a ser utilizada em cada caso.

a. Suportes porosos poliméricos

Os polímeros, sejam naturais ou sintéticos, compõem a classe de suportes orgânicos, que é de suma importância no campo da imobilização enzimática (MENDES, 2009). Para fins comparativos, os polímeros sintéticos exibem uma grande variedade de formas físicas e estruturas químicas que podem ser re combinadas em busca do suporte ideal, ao passo que os polímeros naturais apresentam menores custos e maior facilidade de degradação quando descartados (DALLA-VECCHIA *et al.*, 2004). Diante de tais características, os suportes porosos poliméricos vêm sendo constantemente estudados e aplicados em experimentos para imobilização de enzimas FTase.

Gonçalves *et al.* (2019) utilizaram, para fins experimentais, a imobilização das enzimas FTase, produzidas a partir de *Aspergillus oryzae IPT-301*, por meio do encapsulamento em esferas de alginato de sódio. Utilizando $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ como agentes de reticulação em diferentes concentrações, Gonçalves *et al.* (2019) conseguiram obter as condições ideais de encapsulação, considerando as atividades de transfrutoseilação (A_T). Dessa forma, o CaCl_2 mostrou-se mais eficiente como agente de reticulação do que o BaCl_2 , proporcionando baixas atividades hidrolíticas (A_H) e altas A_T , levando a maiores seletividades, ou seja, maiores relações A_T/A_H , e altos rendimentos de FOS. Ao comparar o uso de grânulos de alginato de sódio com a biomassa livre, os grânulos apresentaram melhor funcionalidade, manuseio e atividades de transfrutoseilação equivalentes ou até superiores em alguns casos, além de uma melhor seletividade.

Faria *et al.* (2019) estudou a imobilização de enzimas FTase produzidas por *Aspergillus oryzae IPT-301* em suportes feitos de esponja vegetal para a produção de FOS. Como forma de execução para seus experimentos, o caldo fermentado contendo FTases extracelulares foi imobilizado a partir de adaptações ao método de Sugahara e Varéa (2014). Utilizou-se de esponja vegetal previamente submetida a tratamento alcalino e seca a 40°C por 24h. Faria *et al.* (2019) calcularam os valores de rendimento de imobilização (IY %) e de atividade recuperada (RA %) o suporte de interesse. Com um IY de 34% e RA de 83,64%, a esponja vegetal apresentou a maior atividade recuperada considerando os suportes avaliados. Tais resultados indicam que a esponja vegetal é um suporte bastante promissor para a produção de FOS em processo descontínuo único.

Ganaie *et al.* (2014) focaram seus estudos e experimentos na imobilização de FTase em quitosana e também em alginato visando a produção contínua e eficiente de FOS. Para tal,

esferas de alginato foram desenvolvidas mantendo sua conformação esférica usando-se 0,3% (p/v) de alginato de sódio com 0,1% (p/v) de solução de CaCl_2 para maior atividade de transfrutossilacção, ao passo que os grânulos de quitosana foram desenvolvidos misturando-se 0,1% (p/v) de quitosana em 10mL de solução de ácido acético glacial a 4% (p/v) sob agitação suave durante 1h. Após análise dos resultados, Ganaie *et al.* (2014) concluíram que tanto a quitosana quanto o alginato serviram como boas matrizes para aprisionar a FTase micelial durante a produção de FOS. No entanto, quando ambos os suportes foram utilizados para a produção de FOS, a eficiência de reciclagem dos grânulos de alginato foi mais bem sucedida em comparação com os grânulos de quitosana. Os dados obtidos pela análise de HPLC mostram 67,75% (p/p) de formação de FOS por grânulos de alginato e 42,79% (p/p) por esferas de quitosana em 36h de reação do substrato enzimático.

Estudos comparativos realizados por Araújo *et al.* (2021) determinaram o rendimento de imobilização (IY %) e a atividade recuperada (RA %) da FTase extracelular de *Aspergillus oryzae* IPT-301 imobilizada por adsorção em três diferentes suportes, dentre eles o polihidroxibutirato (PHB) e o farelo de soja. O PHB é um biopolímero com características que tornam sua aplicação bastante atraente para a imobilização de enzimas por adsorção, dentre os quais se destacam o seu baixo custo, a sua alta resistência mecânica e sua capacidade de regeneração, além de ser um material atóxico e inerte. Para o tratamento do suporte, o PHB foi lavado com etanol P.A. 95 % (v/v) na proporção de 1:10 (g de suporte: ml de caldo fermentado) sob agitação magnética a 25 °C por 6 horas. Ao término da lavagem, a solução foi filtrada a vácuo e o polímero armazenado em dessecador por 24 horas. Como resultados, Araújo *et al.* (2021) encontraram uma RA equivalente a 14% para o PHB e um IY de 41%, valores que permitem considerar o PHB como um potencial suporte aplicável na produção de FOS. O farelo de soja, por sua vez, destaca-se entre os materiais apresentados por sua alta disponibilidade, além de ser um material biodegradável e atóxico. Para o tratamento do suporte, o farelo de soja foi peneirado para classificação granulométrica entre 0,85 e 0,300 μm e seco em estufa a 60°C por 24h. Nesse estudo, Araújo *et al.* (2021) encontraram uma RA de 68% para o farelo de soja, bem como um IY de 36%, e, embora tenha sido o suporte com menor taxa de rendimento entre os demais, ele também foi o que apresentou a maior taxa de atividade recuperada.

Mussatto *et al.* (2009) testaram a aplicação de seis diferentes materiais com potencial aplicação na imobilização de enzimas *Aspergillus japonicus* para a produção de FOS. Dentre eles, a espuma de poliuretano e a fibra vegetal, a qual obteve maior destaque entre os demais. Para a execução do experimento, foram utilizadas amostras de 0,3 cm^3 tanto para a espuma de

poliuretano quanto para a fibra vegetal. As amostras foram previamente tratadas em fervura por 10 minutos, lavadas três vezes com água destilada e posteriormente secas durante a noite a 60°C. Antes do uso, as amostras foram levadas a autoclave a 121°C por 20 minutos. Em seus resultados, Mussatto *et al.* (2009) relataram que a espuma de poliuretano imobilizou uma maior quantidade de células em relação a outros suportes estudados, como a pedra-pomes, mas apresentou os piores resultados de fermentação, provavelmente devido a problemas de transferência de massa, pois esse material absorveu um volume maior de meio do que os demais avaliados. Em contrapartida, a fibra vegetal foi o melhor material utilizado na imobilização as enzimas *A. japonicus*, pois as mesmas permaneceram perfeitamente aderidas ao suporte durante o cultivo, permitindo uma alta produção de FOS. Além disso, a fibra vegetal é um material barato, mecanicamente forte e fácil de usar, não exigindo nenhum pré-tratamento severo ou de alto custo.

b. Suportes porosos cerâmicos

Os materiais cerâmicos compõem a classe de suportes denominados inorgânicos. Diante das diversas características que definem os suportes orgânicos (as quais foram citadas anteriormente), os suportes inorgânicos passam a ser considerados os mais apropriados para uso industrial, considerando suas características, dentre as quais destacam-se a sua elevada resistência mecânica, sua boa estabilidade térmica, sua alta resistência a solventes orgânicos e ao ataque de microrganismos (QUEISSADA; SILVA, 2020). Diante de tal relevância, os suportes porosos cerâmicos são constantemente aplicados em novos experimentos na busca pelos melhores resultados na imobilização de enzimas FTase.

Faria *et al.* (2019) estudou a imobilização de enzimas FTase produzidas por *Aspergillus oryzae IPT-301* em suportes de sílica gel visando a produção de FOS. O caldo fermentado contendo FTases extracelulares foi imobilizado a partir de adaptações ao método de Sugahara e Varéa (2014). Utilizou-se sílica gel seca a 60°C por 24h. Foram calculados os valores de rendimento de imobilização (IY %) e de atividade recuperada (RA %) para o suporte indicado. Com um IY equivalente a 85% e RA de 9,07%, a sílica gel apresentou o maior rendimento de imobilização e estabilidade operacional entre os suportes observados no estudo. Tais resultados sugerem que a sílica gel é um suporte promissor para a produção de FOS por reações descontínuas consecutivas. Dando sequência em seus estudos, Faria *et al.* (2020) confirmaram o potencial de aplicação da sílica gel como suporte para a imobilização de enzimas FTase na produção de FOS. Em seus experimentos, tanto a atividade de transfrutossilagem (A_T) quanto a atividade hidrolítica (A_H) foram determinadas de acordo com os métodos de Cuervo-Fernandez

et al. (2007), Ottoni *et al.* (2012) e Cunha *et al.* (2019). Como resultados, Faria *et al.* (2020) observaram que a A_T foi maximizada por meio do delineamento experimental em função dos pH's e temperaturas de reação. Além disso, a FTase imobilizada apresentou capacidade de reutilização por seis ciclos reacionais consecutivos e maior pH e estabilidade térmica do que a enzima solúvel. Sendo assim, tais resultados sugerem alto potencial de aplicação da sílica gel como suporte para imobilização de FTase visando a produção de FOS.

De forma complementar, os experimentos de Araújo *et al.* (2021) registraram a sílica como sendo o suporte (dentre os estudados) com o maior rendimento de imobilização (IY = 85%) e tal fato pode ser explicado por suas propriedades de hidrofiliidade, alta porosidade e principalmente sua grande área superficial.

Por sua vez, Garcia *et al.* (2022) relataram o uso de um novo suporte para a imobilização de enzimas FTase obtido pela disposição de nióbio em pó de sílica gel com o objetivo de obter um biocatalisador altamente ativo para a produção de FOS. O suporte apresentou fases ortorrômbicas e monoclinicas de Nb_2O_5 distribuídas homogeneamente ao longo da amostra de sílica gel, formando uma mistura de material sílica-nióbia de partículas muito finas. O rendimento de imobilização (IY %) e a atividade recuperada (RA %) da enzima foram cerca de 57,7% e 87,8%, respectivamente. Tal resultado sugere uma melhora significativa na adsorção de FTase em sílica devido à adição de nióbio e alta aplicabilidade de suportes de sílica-nióbia para imobilização de enzimas FTase visando a produção de FOS.

Mussatto *et al.* (2009) testaram a aplicação de seis diferentes materiais com potencial aplicação na imobilização de enzimas *Aspergillus japonicus* para a produção de FOS, destacam-se os materiais cerâmicos advindos da espuma de vidro e da pedra-pomes. A pedra-pomes foi utilizada em forma de grânulos de malha 8-24, enquanto a espuma de vidro foi utilizada em formato de partículas que variavam seu diâmetro entre 2,36 e 3,35 mm. Para serem utilizados como suportes de imobilização, a pedra-pomes foi previamente tratada com fervura por 10 minutos, lavada três vezes com água destilada e seca durante a noite a 60°C, ao passo que as partículas de vidro foram secas a 105°C por 3h e então tratadas com solução de HNO_3 5% w/v a 65°C por 45 minutos para posterior lavagem com água destilada até neutralização e secagem a 90°C até peso constante. Antes do uso, ambos os materiais foram autoclavados a 121°C por 20 minutos. Como resultado, Mussatto *et al.* (2009) verificaram que a espuma de vidro não foi capaz de imobilizar as células e se mostrou instável durante o processo de fermentação, desintegrando-se durante o processo de agitação devido ao contato entre as partículas de vidro com a parede do vaso, sendo considerado inadequado para a imobilização de enzimas durante

a produção de FOS. Em contrapartida, a pedra-pomes apresentou bons valores de fermentação, no entanto não foi capaz de imobilizar uma grande quantidade de células.

Além dos materiais cerâmicos citados que descrevem diretamente os resultados obtidos no processo de imobilização das enzimas FTase, foram encontrados outros materiais que se mostraram promissores no que diz respeito à imobilização enzimática, os quais podem ser aplicados em posteriores procedimentos experimentais visando a imobilização de enzimas FTase para a produção de FOS.

O óxido de grafeno (GO) possui uma grande área superficial específica e um número considerável de grupos funcionais, fatos que o torna um substrato ideal para estudo de aplicação em imobilização enzimática, relata Zhang *et al.* (2010). Em seus experimentos, Zhang *et al.* (2010) demonstraram que a imobilização de enzimas em folhas de GO pode ocorrer por meio da simples interação eletrostática, sem que se faça necessário o uso de agentes de reticulação ou modificações em sua superfície. A imobilização das enzimas peroxidase de rábano (HRP) e lisozima foi realizada por meio da incubação da folha de GO, com espessura aproximada de 1nm, juntamente das enzimas em solução tampão de fosfato 4°C e com base na observação por microscopia de força atômica (AFM), Zhang *et al.* (2010) verificaram que o desempenho catalítico das enzimas imobilizadas é determinado pela interação das moléculas da enzima com os grupos funcionais do GO e que a carga enzimática não interfere na atividade específica da enzima, logo, a chave para se obter melhor desempenho catalítico se concentra na retenção total da conformação da enzima imobilizada.

Zhang *et al.* (2011) estudaram a aplicação de nanocristais de óxido de zinco (ZnO) com diferentes morfologias como substratos para imobilização enzimática da peroxidase de rábano (HBR). Os nanocristais de ZnO foram preparados através de um procedimento hidrotérmico utilizando hidróxido de tetrametilamônio como agente mineralizante e o controle da morfologia desses nanocristais foi obtida por meio da variação na proporção de CH_3OH para H_2O utilizados como solventes no sistema de reação hidrotérmica. Os resultados encontrados por Zhang *et al.* (2011) mostraram que o *nanomultipod* tridimensional é mais apropriado para a imobilização de enzimas em reações catalíticas, considerando também as nanoesferas e os nanodiscos, fator de grande implicação para os diversos estudos em andamento acerca da temática de imobilização enzimática e suas aplicações.

7. METODOLOGIA

O presente trabalho pode ser classificado de acordo com Gil (2002) como sendo uma pesquisa de natureza exploratória, cujo objetivo principal é o aprimoramento de ideias e descoberta de novas intuições a respeito dos temas delimitados.

Para o desenvolvimento do trabalho foi necessária uma pesquisa de artigos científicos disponíveis no Portal Periódicos CAPES, bem como uma pesquisa em sites e noticiários a fim de garantir o maior número possível de informações comprovadas e atualizadas acerca dos temas interessados. Nesta pesquisa, foram selecionados trabalhos que abordam os frutooligossacarídeos (FOS), bem como suas aplicações, as vantagens do seu consumo diante dos demais açúcares conhecidos popularmente e as principais formas para sua produção. Além disso, trabalhos que abordam imobilização enzimática e suportes porosos (tipos, características, vantagens e desvantagens) foram de suma importância para a elaboração da presente pesquisa bibliográfica.

Todo o material citado foi previamente selecionado para estudo e utilizado como base referencial, de forma a garantir a elaboração do presente *review*.

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dessa pesquisa bibliográfica fornecem um *review* acerca dos suportes porosos utilizados na imobilização enzimática, com destaque àqueles utilizados na imobilização das enzimas FTase, principais responsáveis pela produção dos frutooligossacarídeos (FOS). Esse trabalho permite um acesso rápido e conciso a respeito da temática abordada, facilitando a leitura e compreensão do assunto para aqueles que estão iniciando seus estudos na área.

Como pôde ser visto, há suportes mais adequados para aplicação prática na produção dos FOS que poderão vir a ser utilizados em estudos posteriores juntamente de aplicações práticas. Resumidamente, os principais resultados obtidos em relação aos suportes utilizados estão indicados na Tabela 1.

Tabela 4: Materiais utilizados como suporte, classificação e principais resultados obtidos.

Material suporte	Classificação	Principais resultados	Referências
Sílica gel	Cerâmica	Apresentou ótimo rendimento de imobilização e estabilidade operacional, sendo considerado um material promissor para a produção de FOS por reações descontínuas consecutivas, com capacidade de reutilização em até 6 ciclos.	Faria <i>et al.</i> (2019)
Esonja vegetal	Polímero	Apresentou boa atividade recuperada, sendo considerado um material promissor para a produção de FOS em um processo descontínuo único.	Faria <i>et al.</i> (2019)
Alginato de sódio	Polímero	Apresentou boa funcionalidade, manuseio e atividades de transfrutossilacção equivalentes ou superiores ao uso da biomassa livre, além de garantir uma melhor seletividade.	Gonçalves <i>et al.</i> (2019)

Sílica-Nióbia	Compósito cerâmico	Apresentou melhora significativa na adsorção da enzima FTase diante dos suportes de sílica gel, aumentando sua taxa de atividade recuperada.	Garcia <i>et al.</i> (2022)
PHB	Polímero	Suporte atraente tendo em vista seu baixo custo, a alta resistência mecânica e sua capacidade de regeneração, além de ser um material atóxico e inerte. Possui média taxa de rendimento de imobilização e baixa taxa de atividade recuperada.	Araújo <i>et al.</i> (2021)
Farelo de soja	Polímero	Alta disponibilidade e boa taxa de atividade recuperada, contudo, apresenta baixa taxa de rendimento de imobilização.	Araújo <i>et al.</i> (2021)
Espuma de vidro	Cerâmica	Incapaz de imobilizar as células, mostrando-se instável durante os processos de fermentação. Logo, é considerado inadequado para uso como suporte na produção de FOS.	Mussatto <i>et al.</i> (2009)
Espuma de PU	Polímero	Imobiliza uma maior quantidade de células, no entanto, fornece baixos resultados de fermentação.	Mussatto <i>et al.</i> (2009)
Fibra vegetal	Polímero	Apresenta boa adesão no processo de imobilização das enzimas e alta produção de FOS.	Mussatto <i>et al.</i> (2009)
Pedra-Pomes	Cerâmica	Apresentaram bons valores de fermentação, contudo, são incapazes de imobilizar grande quantidade de células.	Mussatto <i>et al.</i> (2009)
Quitosana	Polímero	Mostrou-se como um material promissor atuando como suporte para a imobilização de enzimas FTase visando a produção de FOS.	Ganaie <i>et al.</i> (2014)
ZnO	Cerâmica	Nanocristais de ZnO foram testados em diferentes morfologias e concluiu-se que os <i>nanomultipods</i> apresentam a estrutura mais apropriada para aplicação no processo de imobilização de enzimas para reações catalíticas.	Zhang <i>et al.</i> (2011)
GO	Cerâmica	Material com grande área superficial específica e número considerável de grupos funcionais, tornando-o um material potencial para aplicação na imobilização enzimática de diversas proteínas.	Zhang <i>et al.</i> (2010)

Fonte: Autoria própria (2023).

Dentre os suportes inorgânicos aplicados na imobilização de enzimas por adsorção destaca-se significativamente a sílica gel, a qual apresenta baixo custo, alta resistência mecânica, estabilidade térmica e química, caráter altamente hidrofílico, e, principalmente, elevada área superficial específica (ARAÚJO *et al.*, 2021).

No entanto, a partir da análise do conteúdo da tabela e de todo o material descrito nos tópicos anteriores, constatou-se que a esponja vegetal, o alginato, o polihidroxibutirato e a fibra vegetal têm mostrado resultados bastante promissores em termos de taxa de atividade recuperada, nível de seletividade e, sobretudo, baixo custo.

Além destes, a sílica-nióbia apresentou melhora significativa na adsorção da enzima FTase diante dos suportes de sílica gel visando a produção de FOS, aumentando sua taxa de atividade recuperada e se destacando diante dos suportes listados acima.

Por fim, é válido ressaltar que os suportes de ZnO e GO, embora pouco explorados em estudos referentes a imobilização enzimática direcionados para a produção de FOS, apresentaram resultados satisfatórios e promissos diante de suas respectivas aplicações.

Levando isso em consideração, tais suportes se tornam alvo de estudos ainda mais aprofundados para posteriores aplicações experimentais.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de açúcares funcionais, como os frutooligossacarídeos (FOS), por via enzimática vem se apresentando como uma alternativa à substituição dos açúcares convencionais. Nos últimos anos, a imobilização de enzimas tem se destacado como uma poderosa ferramenta para a melhoria das propriedades enzimáticas, como a estabilidade e a possibilidade de reutilização, sobretudo nas áreas alimentícia e farmacêutica.

Conclui-se, portanto, que embora atualmente exista uma gama bastante diversificada de protocolos para imobilização de enzimas, incluindo as enzimas FTase visando a produção de FOS, nenhum método ou suporte pode ser considerado único e insubstituível para tal aplicação. Dessa forma, novos materiais estão sendo constantemente testados e aplicados em análises experimentais na incansável busca por métodos que permitam a obtenção de resultados ainda melhores do que aqueles encontrados até o momento, de forma a produzir os FOS em escala industrial com o melhor retorno e o menor custo possível.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, I. M. *et al.* Avaliação dos parâmetros de imobilização da enzima frutossiltransferase extracelular de *Aspergillus oryzae* IPT-301 em diversos suportes. In: I WEB ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA QUÍMICA, 1, 2021, Diamantina. **Anais do I Web Encontro Nacional de Engenharia Química**. Even3, 2021, online. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/wendeq2021/345476-avaliacao-dos-parametros-de-imobilizacao-da-enzima-frutossiltransferase-extracelular-de-aspergillus-oryzae-ipt-301/>. Acessado em: Jul. 2022.

BARBOSA, O. *et al.* Heterofunctional supports in enzyme immobilization: from traditional immobilization protocols to opportunities in tuning enzyme properties. **Biomacromolecules**, [s. l.], 2013, v. 14, ed. 8, p. 2433-2462, 3 jul. 2013. Disponível em: <https://doi-org.ez37.periodicos.capes.gov.br/10.1021/bm400762h>. Acessado em: Mai. 2022.

BRENA, B. M.; VIERA, F. B. Immobilization of enzymes: a literature survey. In: GUISAN, J. M. (ed.). **Immobilization of Enzymes and Cells**. 2. ed. Totowa, New Jersey: Humana Press Inc., 2006. cap. 2, p. 15-30.

CLARO, R. M. *et al.* Consumo de alimentos não saudáveis relacionados a doenças crônicas não transmissíveis no Brasil: Pesquisa Nacional de Saúde, 2013. **Epidemiol. Serv. Saúde**, Brasília, v. 24, ed. 2, p. 257-265, abr-jun 2015. DOI 10.5123/S1679-49742015000200008. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?pid=S1679-49742015000200008&script=sci_arttext&lng=en. Acessado em: Jun. 2022.

CNN BRASIL. **Venda de alimento saudável bate R\$ 100 bilhões em 2020, em meio à pandemia.** [s. l.]: Márcia de Chiara, 17 mar. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/com-pandemia-venda-de-alimento-saudavel-bate-r-100-bi/>. Acessado em: Mai. 2022.

CUNHA, J. S. **Produção e caracterização da enzima frutossiltransferase de *Aspergillus oryzae* IPT-301 visando a obtenção de fructooligosacarídeos.** 2017. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas - MG, 2017. Disponível em: <https://btdt.unifal-mg.edu.br:8443/handle/tede/1022>. Acessado em: Jul. 2022.

DALLA-VECCHIA, R. *et al.* Aplicações sintéticas de lipases imobilizadas em polímeros. **Química Nova**, v. 27, n. 4, p. 623-630, 2004. DOI: 10.1590/S0100-40422004000400017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262738612_Synthetic_applications_of_immobilized_lipases_in_polymers. Acessado em: Ago. 2022.

DENTI, A. F. Tecnologia enzimática: classificação, imobilização, suportes e aplicações. **Revista Perspectiva**, v. 45, n. 171, p. 97-110, 13 out. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.31512/persp.v.45.n.171.2021.168.p.97-110>. Acessado em: Ago. 2022.

FARIA, L. L. *et al.* Biochemical characterization of extracellular fructosyltransferase from *Aspergillus oryzae* IPT-301 immobilized on silica gel for the production of fructooligosaccharides. **Biotechnology Letters**, v. 43, p. 43–59, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10529-020-03016-7>. Acessado em: Jul. 2022.

FARIA, L. L. *et al.* Immobilization of fructosyltransferase on sílica gel and vegetable sponge for fructooligosaccharides production. In: XXII NATIONAL BIOPROCESSES SYMPOSIUM (SINAFERM) XIII ENZYMATIC HYDROLYSIS OF BIOMASS SYMPOSIUM (SHEB), 2019, Uberlândia. **Anais do Simpósio Anual de Bioprocessos**. Campinas, Galoá, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sinaferm/sinaferm-sheb-2019/papers/immobilization-of-fructosyltransferase-on-silica-gel-and-vegetable-sponge-for-fructooligosaccharides-production->. Acessado em: Jul. 2022.

FERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, M. *et al.* Recent developments and applications of immobilized laccase. **Biotechnology Advances**, v. 31, n. 8, p. 1808-1825, 2013. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2012.02.013. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S073497501200064X?casa_token=O4I5_PYbI-AAAAA:UxBOf11_Bi39CGWR6PhdUWcx8ZIAhHUobTflh7ANapJfQpJpPdHCx_2d26sn_OqfAiH2V7ynO5awLw. Acessado em: Ago. 2022.

GANAIÉ, M. A. *et al.* Immobilization of fructosyltransferase by chitosan and alginate for efficient production of fructooligosaccharides. **Process Biochemistry**, [s. l.], 2014, v. 49, p. 840-844, mai. 2014. DOI: 10.1016/j.procbio.2014.01.026. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359511314000671>. Acessado em: Jul. 2022.

GARCIA, L. A. *et al.* Synthesis and characterization of a novel silica-niobia support for the immobilization of microbial fructosyltransferase aiming at fructooligosaccharides production.

Materials **Today Communications**, [s. l.], 2022, v. 31, 20 abr. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103588>. Acessado em: Jul. 2022.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p.

GONÇALVES, M. C. P. **Imobilização de frutossiltransferase microbiana em gel de alginato e sua caracterização para a produção de frutooligossacarídeos**. 2019. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas - MG, 2019. Disponível em: <https://bdtd.unifal-mg.edu.br:8443/handle/tede/1503>. Acessado em: Jul. 2022.

GONÇALVES, M. C. P. *et al.* Entrapment of glutaraldehyde-crosslinked cells from *Aspergillus oryzae* IPT - 301 in calcium alginate for high transfructosylation activity. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v.95, n.10, p.2463-2472, set. 2020. DOI 10.1002/jctb.6429. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jctb.6429>. Acessado em: Jul. 2022.

GUISAN, J. M. **Immobilization of enzymes as the 21st century begins: an already solved problem or still an exciting challenge?** In: GUIBAN, J. M. (ed.). *Immobilization of Enzymes and Cells*. 2. ed. Totowa, New Jersey: Humana Press Inc., 2006. cap. 1, p. 1-13.

MENDES, A. A. **Seleção de suportes e protocolos de imobilização de lipases para a síntese enzimática de biodiesel**. 2009. 194 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/3877/2620.pdf?sequence=1>. Acessado em: Ago. 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Atenção Primária à Saúde (SAPS). **Saúde promove conscientização sobre o consumo de açúcar em webinar**. [S. l.], 3 jan. 2022. Disponível em: <https://aps.saude.gov.br/noticia/15359>. Acessado em: Mai. 2022.

MUSSATTO, S. I. *et al.* Colonization of *Aspergillus japonicus* on synthetic materials and application to the production of fructooligosaccharides. **Carbohydrate Research**. [s. l.], 2009, v. 344, p. 795-800, 21 abr. 2009. DOI: 10.1016/j.carres. 2009.01.025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19251252/>. Acessado em: Jul. 2022.

OLIVEIRA, S. P.; THÉBAUD-MONY, A. Estudo do consumo alimentar: em busca de uma abordagem multidisciplinar. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 201-208, abr. 1997. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/8BmYkMdPsVwLJXvBk98HbSH/?format=pdf&lang=pt>. Acessado em: Mai. 2022.

PASSOS, L. M. L.; PARK, Y. K. Frutooligossacarídeos: implicações na saúde humana e utilização em alimentos. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 385-390, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000200034>. Acessado em: Mai. 2022.

QUEISSADA, D. D.; DA SILVA, J. A. Imobilização enzimática em suportes orgânicos e inorgânicos: vantagens e desvantagens. **Holos Environment**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 271–286, 2020. DOI: 10.14295/holos.v20i2.12378. Disponível em: <https://www.ceanesp.org.br/holos/article/view/12378>. Acessado em: Ago. 2022.

ROCHA, R. J. *et al.* Imobilização de frutossiltransferase microbiana em bagaço de cana e sabugo de milho para a produção de frutooligossacarídeos. In: I WEB ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA QUÍMICA, 1, 2021, Diamantina. **Anais do I Web Encontro Nacional de Engenharia Química**. Even3, 2021, online. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/wendeq2021/345335-imobilizacao-de-frutossiltransferase-microbiana-em-bagaco-de-cana-e-sabugo-de-milho-para-a-producao-de-frutooligos>. Acessado em: Mai. 2022.

SLUIK, D. *et al.* Total, free, and added sugar consumption and adherence to guidelines: the dutch national food consumption survey 2007–2010. **Nutrients**, [s. l.], ano 2016, v. 8, ed. 70, 28 jan. 2016. DOI 10.3390/nu8020070. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-6643/8/2/70>. Acessado em: Jun. 2022.

SOUZA, L. T. de A. *et al.* Imobilização enzimática: princípios fundamentais e tipos de suporte. In: RESENDE, R. R. **Biotecnologia Aplicada à Agro&Indústria: Fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2016. v. 4, cap. 15, p. 529-568.

ZHANG, J. *et al.* Graphene oxide as a matrix for enzyme immobilization. **Langmuir Letter**, [s. l.], ano 2010, v. 26, ed. 9, p. 6083-6085, 18 mar. 2010. DOI 10.1021/la904014z. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/la904014z>. Acessado em: Ago. 2022.

ZHANG, Y. *et al.* Effect of substrate (ZnO) morphology on enzyme immobilization and its catalytic activity. **Nanoscale Research Letters**, [s. l.], 13 jul. 2011. DOI 10.1186/1556-276X-6-450. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21752255/>. Acessado em: Ago. 2022.

CAPÍTULO 6

EQUILÍBRIO LÍQUIDO-VAPOR DA MISTURA R1234YF-R23 VIA REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Henrique Marques Turqueti
Pietro Soares Ramalho
Tiago Dias Martins

RESUMO

Recentes pesquisas envolvendo misturas de fluidos refrigerantes abordam o comportamento do equilíbrio líquido-vapor (ELV), pois seu conhecimento é crucial para o projeto de sistemas de refrigeração. Muitas vezes, a modelagem fenomenológica exige demasiado conhecimento teórico a respeito das interações moleculares do sistema em questão, o que dificulta a otimização do processo. Com o objetivo de contornar esse problema, o presente trabalho utilizou redes neurais artificiais (RNAs) para modelar o ELV da mistura R1234yf-R23. Como variáveis de entrada foram utilizadas a pressão e temperatura da mistura e, como variáveis de saída, as composições da fase líquida e vapor. Os dados utilizados no treinamento das RNAs consistiram em 7 isotermas entre 254,10 K e 348,40 K. A configuração que gerou os melhores resultados foi a que continha 15 e 10 neurônios nas camadas ocultas, empregando o algoritmo de Levenberg-Marquardt com Regularização Bayesiana. Essa RNA foi capaz de prever corretamente os dados de equilíbrio tanto em interpolações realizadas nas mesmas temperaturas usadas no treinamento quanto em temperaturas não apresentadas nessa etapa. Este trabalho comprovou que as RNAs são uma ferramenta viável em problemas complexos de engenharia na área de Termodinâmica.

PALAVRAS-CHAVE: Inteligência Artificial. Equilíbrio de Fases. Mistura Binária.

1. INTRODUÇÃO

O uso do processo de refrigeração é utilizado há muitos anos, indo desde a simples conservação de alimentos até em processos industriais complexos. Impulsionadas principalmente pelo fator custo, realizaram-se diversas pesquisas buscando otimizar o uso de fluidos refrigerantes através do estudo de suas propriedades termodinâmicas.

Para a escolha de um fluido refrigerante, é necessário avaliar suas propriedades termodinâmicas, seu impacto na segurança e na eficiência do processo, e também na saúde das pessoas. Além disso, devido às novas leis ambientais cada vez mais restritivas, a necessidade de se pesquisar e desenvolver novos fluidos refrigerantes aumentou consideravelmente (SANDLER, 1999).

A categoria de fluidos refrigerantes de clorofluorcarbonos (CFCs) foi amplamente utilizada no século XX devido a sua alta capacidade de troca térmica. Entretanto, pesquisas apontaram que essas substâncias são um dos principais responsáveis pela destruição da camada de ozônio do planeta.

Ainda nesse mesmo século, diversas conferências e tratados foram firmados com o objetivo de se substituir progressivamente os CFCs por alternativas de menor impacto

ambiental. Dentro desse contexto, o uso de hidrocarbonetos fluorados é vantajoso do ponto de vista ambiental. Todavia, essas alternativas ainda não possuíam a mesma eficiência de seus antecessores. Com a meta de solucionar esse problema, iniciaram-se estudos de misturas de fluidos refrigerantes para encontrar se candidatos que possuísem um bom rendimento térmico (ZARENEZHAD, 2016).

As misturas de fluidos refrigerantes têm como finalidade combinar as propriedades das substâncias puras, visando obter uma mistura homogênea que apresente propriedades mais interessantes do ponto de vista de sua aplicação. Muitas delas consistem inclusive dos mesmos fluidos refrigerantes, mas em proporções distintas.

O R1234yf (2,3,3,3-tetrafluoropropeno) apresenta uma série de propriedades termodinâmicas vantajosas do ponto de vista ambiental quando comparado com outros fluidos refrigerantes (YANG *et al.*, 2014). Em comparação ao R134a (1,1,1,2-tetrafluoroetano), muito utilizado atualmente em sistemas de ar condicionado automobilísticos, o R1234yf possui a vantagem de ter um baixo índice GWP (ou seja, causando baixo impacto no aquecimento global) e também de ter propriedades termodinâmicas adequadas. Entretanto, ele é inflamável (uma característica indesejável para esse uso) e também possui um calor latente de vaporização menor que o do R134a, demandando uma maior vazão mássica para uma mesma troca de calor. Além disso, altas vazões mássicas em um trocador de calor, por exemplo, podem levar a altas quedas de pressão e conseqüentemente a baixos índices de rendimento. Com o objetivo de solucionar esses problemas, pode-se utilizar da mistura do R1234yf com o R23 (trifluorometano), um fluido refrigerante já conhecido por ser não inflamável e não tóxico (MADANI *et al.*, 2016).

Em busca de alternativas, um dos empecilhos encontrados no estudo da mistura de fluidos refrigerantes é o cálculo termodinâmico do equilíbrio líquido-vapor (ELV), principalmente em regiões próximas à linha crítica, devido à complexidade dos modelos termodinâmicos tradicionais. Além disso, torna-se inviável a realização de repetidos experimentos para obtenção de dados devido ao alto custo e tempo de realização. Visando contornar as limitações de custo e tempo, pesquisas recentes fizeram uso das redes neurais artificiais (RNAs) para a predição das propriedades termodinâmicas no ELV dessas misturas.

Um exemplo é o artigo publicado por Zarenezhad (2016), onde foi estudado o comportamento do ELV para a mistura de dois fluidos refrigerantes, o HFC125 e o HFC134a, a altas pressões utilizando uma rede neural artificial de base radial. Como entradas para essa

RNA, foram utilizadas a temperatura e a fração molar de HFC125 na fase líquida e, como saídas, foram obtidas a pressão e a fração molar da fase vapor. Nesse caso, a melhor estrutura da rede foi aquela com uma camada oculta, contendo 16 neurônios. A escolha da melhor estrutura se deu por análise tanto da média dos erros quadráticos (MSE) quanto do R^2 : i) na etapa de validação, obteve-se um MSE igual a 0,0024 e R^2 iguais a 0,9978 e 0,9932 para a pressão de equilíbrio e fração molar na fase vapor, respectivamente; ii) na etapa de teste, o MSE foi igual a 0,0042 e os R^2 foram iguais a 0,993 e 0,9983. Segundo o autor, o modelo apresentado pode ser utilizado no projeto de sistemas de refrigeração avançados para essa mistura de fluidos refrigerantes.

Baseado em tudo o que foi exposto, o presente trabalho teve como objetivo obter uma RNA capaz de descrever o ELV da mistura binária R1234yf-R23. Dentro desse contexto, comparar a eficiência de diferentes algoritmos de otimização, número de camadas intermediárias e número de neurônios em cada camada.

a. Equilíbrio Líquido-Vapor

O equilíbrio líquido-vapor (ELV) refere-se ao estado de equilíbrio envolvendo duas fases distintas: uma fase líquida e uma fase vapor. O estudo do ELV é particularmente importante em processos industriais de separação, como a destilação, mas não se restringindo somente a isso (SANDLER, 1999).

O ponto de partida para qualquer cálculo de fases em equilíbrio é a definição do critério de equilíbrio. Nesse caso, além da igualdade de temperaturas e pressões, o critério de equilíbrio é que a fugacidade de um componente i da mistura na fase líquida (\bar{f}_i^L) seja igual à fugacidade desse mesmo componente na fase vapor (\bar{f}_i^V), conforme a Equação (1):

$$\bar{f}_i^L = \bar{f}_i^V \quad (1)$$

em que: \bar{f} é a fugacidade, o subscrito i indica qual é o componente da mistura os sobrescritos L e V indicam, respectivamente, as fases líquida e vapor.

Para o cálculo da fugacidade da fase vapor de uma espécie i pode-se utilizar tanto uma equação de estado quanto um modelo de mistura de gás ideal (para baixas pressões). Já, para o cálculo da fugacidade da mesma espécie na fase líquida, podem-se utilizar duas opções: descrições da fase líquida por meio de equações de estado ou modelos baseados no coeficiente de atividade (pela energia livre de Gibbs em excesso) (SANDLER, 1999).

Os métodos ϕ - ϕ (quando se usa apenas a equação de estado) e γ - ϕ (quando se usa um modelo de energia livre de Gibbs em excesso junto com uma equação de estado) possuem vantagens e desvantagens particulares, além de terem restrições de aplicação. Por isso, geralmente usa-se separadamente os métodos na resolução de problemas de equilíbrio (SANDLER, 1999).

No método ϕ - ϕ , as equações de estado geralmente podem ser utilizadas em todas as temperaturas, pressões e densidades (incluindo a região próxima ao ponto crítico) (SANDLER, 1999). O método γ - ϕ é recomendável apenas para sistemas que estão a baixas pressões, pois nessa abordagem não é incluída a densidade, o que acaba gerando uma descrição imprecisa de um líquido expandido (presente próximo ao ponto crítico de mistura líquido-vapor), por exemplo.

Além disso, quando uma equação de estado é usada para a fase vapor e um modelo de coeficiente de atividade é usado para a fase líquida, as propriedades calculadas de ambas as fases podem não ser idênticas e, portanto, o comportamento próximo à região crítica é descrito de forma incorreta (SANDLER, 1999). Sendo assim, o uso de RNAs pode ser uma alternativa bastante interessante, visto que o ajuste desse modelo depende dos dados em si e não de hipóteses fenomenológicas.

b. Redes Neurais Artificiais

As RNAs foram desenvolvidas com base no cérebro humano e no neurônio biológico. Elas são sistemas formados por unidades de processamento simples (neurônios), responsáveis por calcular funções matemáticas. Os neurônios podem ser dispostos em uma ou mais camadas e se conectar de modos distintos entre si, formando uma rede neural artificial. Geralmente, essas conexões estão associadas a pesos que servem para armazenar e quantificar o conhecimento (ponderando a entrada recebida por cada neurônio) (BRAGA *et al.*, 2007).

A saída de um neurônio artificial é calculada ponderando-se o valor das entradas por pesos sinápticos, e somando-se esses termos. Então, adiciona-se um parâmetro de bias para aumentar a plasticidade do modelo neural. Por fim, aplica-se uma função de ativação, f , para embutir não-linearidade ao modelo. A Equação (2) representa o cálculo da saída de um neurônio artificial.

$$a_{a_i} = f \left(\sum_{k=1}^p w_{ik} t_k + b_k \right) \quad (2)$$

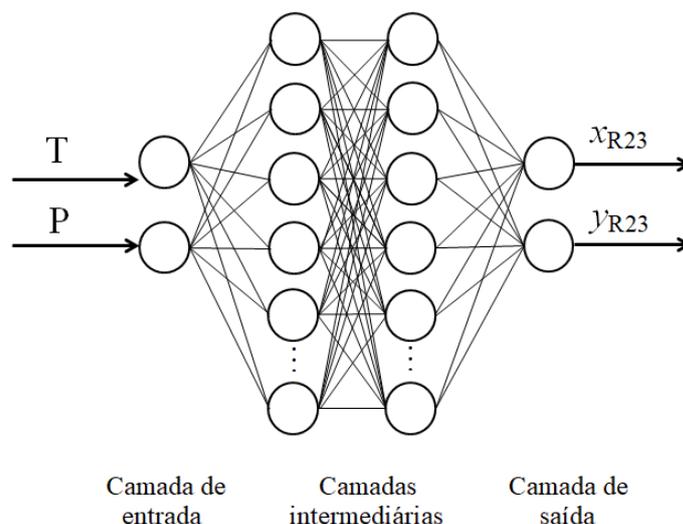
em que a_i representa o valor da saída do neurônio i da camada a , w_{ik} peso da entrada k do neurônio i , t_k entrada k do neurônio, p número total de entradas do neurônio e f pode ser qualquer função contínua.

Ao se criar uma rede neural artificial, é possível escolher diferentes configurações dependendo do problema a ser resolvido e analisado. Dentre as principais características estão a sua arquitetura, que corresponde ao número de camadas e número de neurônios em cada camada, a função-objetivo, o algoritmo de treinamento usado e as funções de transferência em cada camada da rede (BRAGA *et al.*, 2007).

2. MÉTODOS

Nesse estudo, buscou-se uma RNA capaz calcular o ELV da mistura R1234yf-R23. Sabendo-se que ela é dependente da temperatura e pressão a que essa mistura está submetida, foram usadas como variáveis de entrada a temperatura T (em Kelvin) e a pressão P (em MPa) e foram obtidas como variáveis de saída as frações (em mol/mol) de R23 na mistura na fase líquida (x) e na fase vapor (y). Como consequência, a RNA proposta possui 2 neurônios na camada de entrada e dois neurônios na camada de saída. A Figura 1 ilustra a estrutura geral de uma RNA com duas camadas utilizadas neste trabalho.

Figura 4: Estrutura genérica de uma RNA com duas camadas intermediárias.



Fonte: Autoria própria (2023).

Todos os dados utilizados no treinamento das redes neurais artificiais foram retirados do trabalho de Madani *et al.* (2016). Esses dados incluíam os valores das composições das fases líquida e vapor, temperatura, e pressão (de 8 a 15 valores) para cada uma das 7 temperaturas a seguir: 254,10 K, 273,43 K, 293,24 K, 303,17 K, 318,08 K, 332,97 K e 348,40 K. Ajustando-se polinômios suaves para cada temperatura e fase foram gerados 40 pontos para cada isoterma,

totalizando 350 observações, sendo esses os dados finais utilizados nas etapas de treinamento, teste e validação (que neste trabalho compreende o que se chama de obtenção da RNA).

Para a obtenção da RNA foi utilizado o software Matlab R2016b. Foram testadas diferentes configurações, variando-se o número de camadas ocultas (entre 1 e 2), de neurônios em cada camada (entre 5 e 40), e a função de transferência (tangente hiperbólica, sigmoideal, linear). Além disso, foram testados os algoritmos de treinamento: Levenberg-Marquadt (LM), Powell (P), Resilient Back-Propagation (RBP) e Levenberg-Marquardt com Regularização Bayesiana (RB). A melhor estrutura de RNA foi definida baseando-se nos valores das funções objetivo, o erro quadrático médio, das etapas de treinamento, validação e teste assim como os valores do coeficiente de determinação (r^2) para essas mesmas três etapas e duas variáveis de saída (composições x e y).

Foram utilizados 70% dos dados para treinamento da rede, 15% para validação (onde é medida a capacidade de generalização da rede e para interromper o treinamento quando esta começa a piorar) e os 15% restantes para teste (não têm influência no treinamento da rede, servindo apenas como medida independente de desempenho da rede durante e após o treinamento).

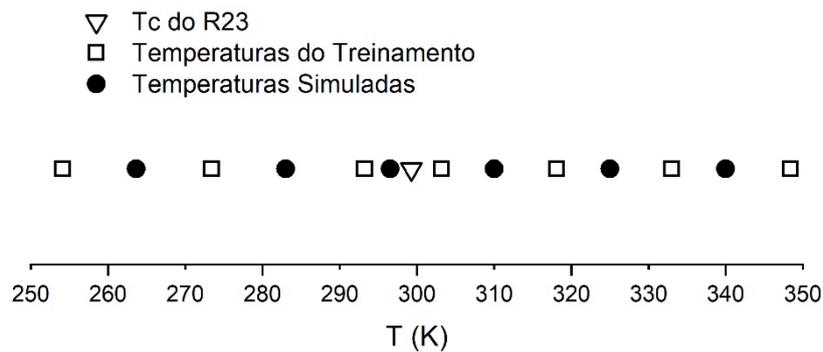
c. Simulação para temperaturas apresentadas no treinamento

Após definir a melhor estrutura, uma avaliação da capacidade de simulação da RNA foi realizada gerando-se dados em temperaturas iguais às apresentadas em seu treinamento para a melhor estrutura obtida. As temperaturas experimentais já estavam disponíveis, necessitando escolher agora apenas as pressões. Foram calculadas as composições para 500 pressões diferentes para cada temperatura, cujo intervalo ia desde a menor pressão até a maior pressão experimental para aquela temperatura. Com isso, foram simulados todos os pontos e estes foram plotados junto com os dados experimentais a fim de se observar a eficiência de predição da RNA.

d. Simulação para temperaturas não apresentadas no treinamento

Para conferir a capacidade de interpolação da RNA com relação à temperatura, uma nova simulação foi realizada. De forma a manter um maior espaçamento possível entre as temperaturas interpoladas para se avaliar o comportamento da RNA em diversas condições, foram incluídas as seguintes isoterms: 263,67 K, 283 K, 296,50 K, 310 K, 325,00 K e 340 K. A Figura 1 ilustra graficamente as temperaturas escolhidas para treinamento e simulação.

Figura 5: Valores de temperatura escolhidos para obtenção e simulação das RNAs.



Fonte: Autoria própria (2023).

Além do espaçamento entre as temperaturas simuladas, foi importante escolher uma parte delas acima da temperatura crítica (T_c) do R23 (299,29 K) de forma a se avaliar a capacidade de predição da RNA em condições em que a mistura apresenta um ponto crítico. Para cada temperatura simulada foram calculadas as pressões de vapor de ambos os fluidos refrigerantes da mistura (YANG *et al.*, 2014), sendo usadas como limites inferior e superior de pressão de entrada da RNA. Assim como nos dados utilizados para temperaturas iguais às do treinamento, para as temperaturas não apresentadas no treinamento foram gerados 500 pontos em cada temperatura variando-se a pressão entre as pressões de vapor já calculadas.

e. Comparação com dados da literatura

Kochenburger *et al.* (2017) publicaram dados experimentais de ELV para diversas misturas de fluidos refrigerantes, dentre elas a mistura R1234yf-R23, em que foram reportados 10 observações. Esses dados consistiam na composição da mistura em função de uma temperatura e pressão. Como os limites de temperatura no treinamento das RNAs estava entre 254,10 K e 348,4 K, a única temperatura disponível no artigo a ser simulada foi a de 273 K.

Usando como dados de entrada da rede neural as temperaturas exatas do artigo (em torno de 273 K) e suas respectivas pressões, a melhor RNA foi utilizada para calcular as composições do R23. Posteriormente, os valores foram comparados com os experimentais calculando-se o erro médio relativo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No total, foram treinadas mais de 300 estruturas de RNAs diferentes. Os resultados para a melhor estrutura de cada algoritmo de treinamento podem ser vistos na Tabela 1. Tanto para o algoritmo P quanto para o RBP a melhor estrutura treinada foi a 2-20-20-2 (lê-se: 2 neurônios nas camadas de entrada e saída, 20 neurônios na primeira camada intermediária e 20 neurônios

na segunda camada intermediária), já para o algoritmo de RB foi a 2-15-10-2 e LM foi 2-10-10-2. Em todos os casos a função de ativação foi tangente hiperbólica em todas as camadas. É importante frisar que em todos os casos os coeficientes de correlação foram acima de 0,999.

Tabela 1: Resultados da função objetivo por algoritmo.

Algoritmo	Estrutura	F _{obj} Treinamento	F _{obj} Validação	F _{obj} Teste
LM	2-10-10-2	7,5.10 ⁻⁶	4.2.10 ⁻⁵	4.4.10 ⁻⁵
P	2-20-20-2	9,4.10 ⁻⁵	2,8.10 ⁻⁵	8,6.10 ⁻⁵
RBP	2-20-20-2	9,3.10 ⁻⁵	2,1.10 ⁻⁵	1,9.10 ⁻⁵
<u>RB</u>	<u>2-15-10-2</u>	<u>4,1.10⁻⁶</u>	<u>2,3.10⁻⁶</u>	<u>4,4.10⁻⁶</u>

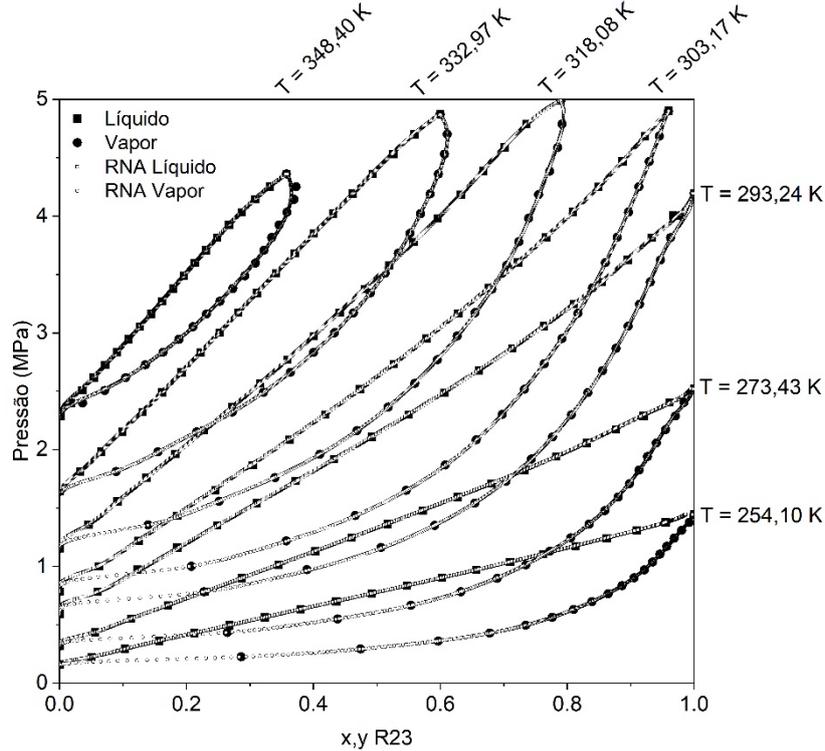
Fonte: Autoria própria (2023).

Pode-se notar que o melhor resultado foi obtido com o algoritmo RB devido ao valor mais baixo da função objetivo. Sendo assim, todas as simulações subsequentes foram realizadas com essa RNA. Visando atestar a sua capacidade de gerar resultados nas mesmas temperaturas dos dados utilizados em seu treinamento e todas as isotermas foram geradas para 500 pontos de pressão. O resultado calculado pela RNA é apresentado na Figura 3.

Percebe-se que a RNA conseguiu calcular de forma coerente as curvas de ELV nas mesmas temperaturas usadas no treinamento, já que a interpolação dos dados seguiu o comportamento esperado. Para verificar como seria o comportamento dos valores calculados, uma simulação em diferentes temperaturas também foi realizada, cujo resultado está apresentado na Figura 4. Pode-se notar, também, que a interpolação realizada pela RNA apresenta resultados bastante coerentes com o esperado.

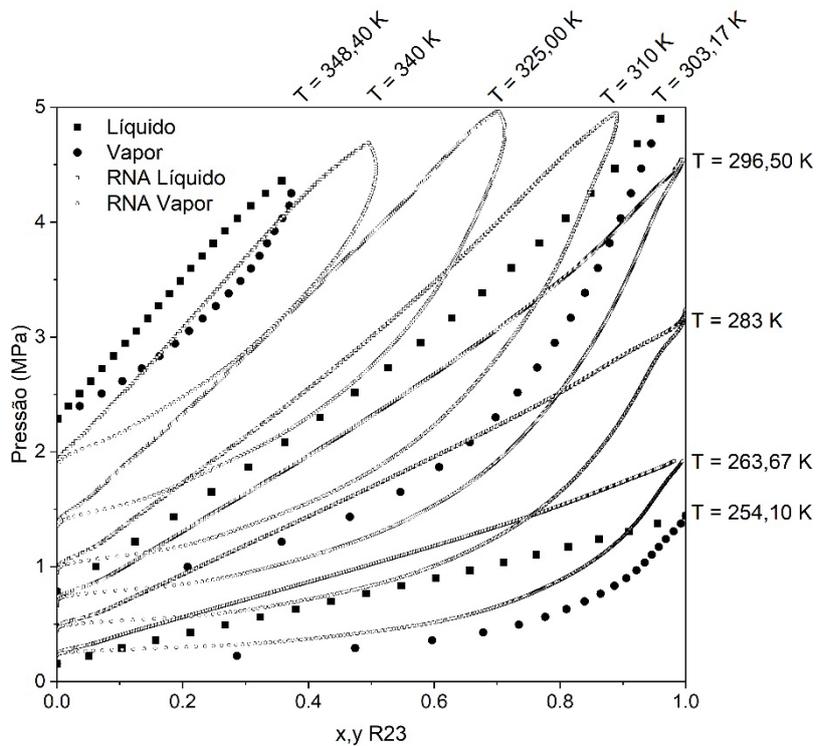
O ponto crítico de uma substância pura consiste na condição de T e P, acima das quais não pode haver equilíbrio líquido-vapor. Em uma mistura binária, essa condição também acontece, mas não existe apenas um ponto crítico, mas sim, uma linha crítica: para cada valor de T há uma pressão crítica. Quando uma mistura apresenta um ponto crítico, a faixa de composição possível para determinada isoterma não vai de 0 a 1, e em algum valor de P, a composição da mistura na fase líquida se iguala à do vapor.

Figura 6: Isotermas simuladas em temperaturas iguais às do treinamento.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 7: Simulação das isotermas não apresentadas no treinamento da RNA.

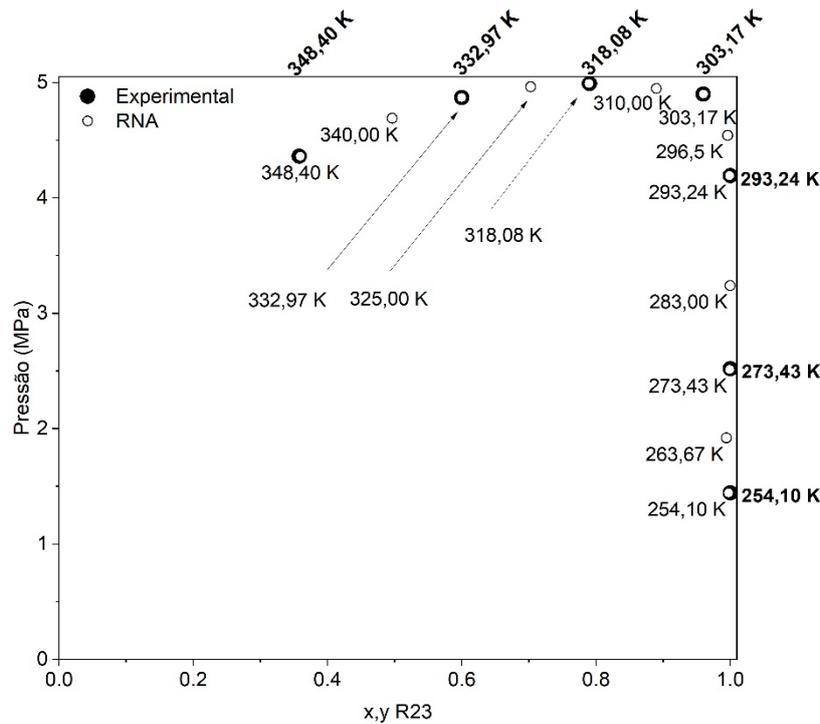


Fonte: Autoria própria (2023).

A Figura 5 apresenta pontos em que a condição $x_{R23} = y_{R23}$. Para temperaturas abaixo da T_c do R23 essa condição é satisfeita apenas quando só existe a substância pura. A linha crítica

passa a se formar para isothermas em temperaturas acima de 299K. As temperaturas em negrito e fora do gráfico da Figura 5 referem-se aos pontos das isothermas experimentais, enquanto as temperaturas no interior do gráfico referem-se aos pontos das isothermas geradas pela RNA. Analisando-se os resultados, confirma-se a capacidade de generalização da RNA, já que os pontos gerados concordam com os experimentais com um pequeno desvio apenas.

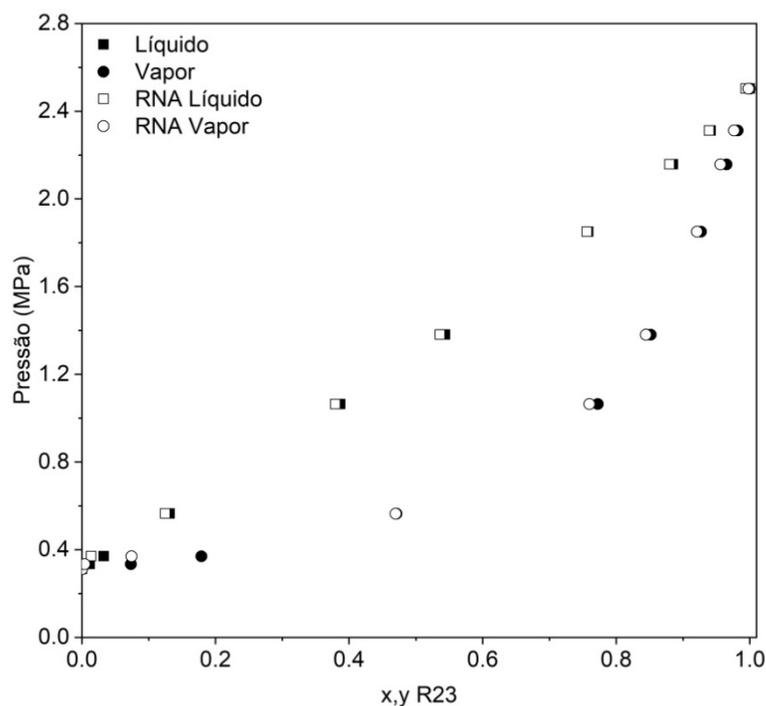
Figura 8: Comparação entre os valores experimentais e simulados da curva crítica da mistura R23-R1234yf.



Fonte: Autoria própria (2023).

Por fim, os dados experimentais de Kochenburger *et al.* (2017) foram utilizados para uma última conferência de predição da RNA, os dados experimentais obtidos pelos autores foram plotados junto aos resultados da simulação da RNA na Figura 6. Pode-se notar que os maiores desvios ocorreram principalmente quando x e y são menores do que 0,2, mantendo o comportamento observado em outras isothermas anteriores. Entretanto, de uma forma geral, pode-se dizer que a rede neural conseguiu prever adequadamente o comportamento da isoterma nas condições dadas.

Figura 9: Comparação da RNA com dados de Kochenburger *et al.* (2017).



Fonte: Autoria própria (2023).

Para se obter um valor numérico desse desvio, calculou-se o erro médio relativo (Eq. (3)) utilizando os dados experimentais disponíveis em Kochenburger *et al.* (2017) e aqueles preditos pela RNA obtida. Os valores obtidos foram de 1,43 % para a composição na fase líquida e 0,71 % para a fase vapor, que correspondem a erros bastante baixos.

$$Erro = 100 \sum_{j=1}^{10} \left| \frac{h_{j,exp} - h_{j,RNA}}{h_{j,exp}} \right| \quad (3)$$

em que h corresponde à fração molar em questão, e os subscritos *exp* e *RNA* correspondem ao valor experimental e calculado pelo modelo, respectivamente.

A melhor RNA obtida possui 227 parâmetros ajustáveis. Uma preocupação pode ser o número de graus de liberdade (NGL) que a RNA possui, visto que havia uma total de 280 pontos para a obtenção da RNA. Quanto maior o NGL, a princípio, maior é o risco de sobreajuste do modelo, o que o torna inadequado para aplicação prática. Isso tem sido comum em redes *deep learning* e vários estudos abordam essa problemática que inviabilizaria o modelo do ponto de vista estatístico. O RB é um algoritmo que inclui um mecanismo de regulação para evitar o sobreajuste. O software Matlab monitora o NGL efetivo das RNAs treinadas com esse algoritmo. Nesse caso, a RNA 2-15-10-2 apresentou um NLG igual a 1,75, que é um número bem inferior ao número de observações apresentadas, corroborando o previsto por outros

estudos (INGRASSIA; MORLINI, 2005). Sendo assim, a RNA 2-15-10-2 tem a sua capacidade de generalização mantida, como mostrado nos resultados do trabalho. Trabalhos futuros consistirão na obtenção de novos dados experimentais para a confirmação efetiva da capacidade de generalização da RNA.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho o comportamento do ELV da mistura R1234yf-R23 foi modelado utilizando-se RNAs cujo treinamento se baseou em dados experimentais. A avaliação das diferentes estruturas treinadas se deu por meio dos valores de funções objetivo e de r^2 . Para a estrutura 2-15-10-2 com algoritmo de regularização bayesiana notou-se uma elevada capacidade de generalização, já que além de conseguir prever corretamente os dados de ELV nas mesmas temperaturas utilizadas em seu treinamento, foi capaz também de interpolar esses valores de composição em temperaturas não apresentadas no treinamento (que estavam dentro das temperaturas mínima e máxima). Além disso, conseguiu calcular as composições x e y com erro inferior a 1,5 % em comparação a outra fonte de dados experimentais.

REFERÊNCIAS

BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P. L.; LUDERMIR, T. B. **Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

INGRASSIA, S.; MORLINI, I. Neural network modeling for small datasets. **Technometrics**, v. 47, n. 3, p. 297-311, 2005. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/25471023>. Acessado em: Jan. 2023.

KOCHENBURGER, T. *et al.* Vapor-liquid and vapor-liquid-liquid equilibrium measurements and correlation of the binary mixtures 2, 3, 3, 3-tetrafluoroprop-1-ene (R1234yf)+(tetrafluoromethane (R14), trifluoromethane (R23), octafluoropropane (R218), nitrogen (R728) and argon (R740)) and ethane (R170)+ trifluoromethane (R23). **Fluid Phase Equilibria**, v. 450, p. 13-23, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2017.07.002>. Acessado em: Jan. 2023.

MADANI, H. *et al.* Isothermal vapor-liquid equilibrium data for the trifluoromethane (R23)+ 2, 3, 3, 3-tetrafluoroprop-1-ene (R1234yf) system at temperatures from 254 to 348 K. **Fluid Phase Equilibria**, v. 415, p. 158-165, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2016.02.005>. Acessado em: Jul. 2017.

SANDLER, S. I. **Chemical and Engineering Thermodynamics**. New York: Jhon Wiley & Sons, 1999.

YANG, Z.-Q. *et al.* Experimental study of saturated pressure measurements for 2, 3, 3, 3-tetrafluoropropene (HFO-1234yf) and 2-chloro-1, 1, 1, 2-tetrafluoropropane (HCFC-244bb).

Journal of Chemical & Engineering Data, v. 59, n. 1, p. 157-160, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/je400970y>. Acessado em: Ago. 2023.

ZARENEZHAD, B. Prediction of phase behavior of mixed refrigerants HFC125-HFC134a by using radial basis function artificial neural network. **Journal of Chemical Technology & Metallurgy**, v. 51, n. 1, 2016. Disponível em: https://journal.uctm.edu/node/j2016-1/8_B_ZareNezhad.pdf. Acessado em: Ago. 2018.

CAPÍTULO 7

EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA PECTINA DE MAÇÃ GALA (*MALUS DOMESTICA BORK*)

Alessandra Benício da Silva Lambert
Bárbara Conceição Pessoa de Oliveira
Vitória Cuellar Almeida
Shirley Cristina Cabral Nascimento
Marlice Cruz Martelli

RESUMO

A pectina, polissacarídeo que possui ampla aplicabilidade em indústrias alimentícias, pode ser extraída do bagaço de maçã, que é um resíduo da indústria de sucos. Uma vez que a quantidade desses resíduos é expressiva, há a necessidade de soluções viáveis para o seu reaproveitamento. Sendo assim, o objetivo deste trabalho consiste na extração ácida da pectina contida no bagaço de maçã da variedade Gala. A metodologia se deu com a utilização da solução de um ácido orgânico, seguida de lavagem, precipitação e isolamento da pectina. Os resultados são mostrados em termos de rendimento, grau de esterificação e classificação segundo seu teor de metoxilação. A quantidade de farinha desidratada obtida do bagaço foi de aproximadamente 17g por cada quilo de maçã processado. O rendimento pectico foi de aproximadamente 33%, valor este considerado maior que os dados encontrados na literatura, com a vantagem de ter sido obtido em medidas inferiores de tempo e temperatura. O grau de esterificação, feito a partir de caracterização titulométrica foi de 20,34% sendo classificada como pectina de baixo teor de metoxilação (BTM). Sendo assim, os resultados são considerados satisfatórios à medida que se observa que a pectina obtida do bagaço de maçã Gala pode ser utilizada como pectina comercial. Portanto, concluiu-se que o processo de obtenção da pectina utilizado neste estudo é viável.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo. Maçã. Pectina. Extração. Metoxilação.

1. INTRODUÇÃO

A extração da pectina é continuamente estudada ao longo dos anos em consequência de sua importância comercial não somente para a indústria de alimentos e fármacos, mas também em cosméticos, materiais de limpeza e revestimentos biodegradáveis.

As pectinas constituem um grupo de substâncias de grande interesse pela indústria de alimentos, uma vez que são empregadas no preparo de geleias, doces de frutas, produtos de confeitaria e sucos de frutas, de acordo com suas propriedades geleificante, estabilizante e espessante.

As fontes mais ricas de pectinas estão nos frutos cítricos, podendo ser extraídos em abundância principalmente do albedo, região mesocárpica do fruto. Outra fonte natural deste carboidrato é a maçã, que conjuntamente com os frutos cítricos constituem as principais matérias-primas para produção de pectina em nível comercial.

Durante o processamento do suco de frutas, há uma grande produção de resíduos, tais como cascas, sementes e polpa úmida (bagaço). O teor em substâncias pécticas varia de acordo com a origem botânica do produto vegetal, sendo quatro subprodutos de indústrias agrícolas e alimentares ricos em substâncias pécticas: bagaço de maçã, albedo cítrico, polpa de beterraba e capítulos de girassol. A maior parte da pectina usada pela indústria de alimentos é originária dessas matérias-primas, sendo extraída em condições levemente ácidas e em alta temperatura.

Em função da pectina apresentar-se como alternativa para agregação de valores aos resíduos sólidos vegetais, associado à minimização do volume a ser descartado, este trabalho tem como objetivo realizar a extração ácida da pectina contida na farinha de bagaço desidratado de maçã, utilizando a metodologia de Canteri (2010) modificada, em seguida analisar o rendimento, o grau de esterificação e a classificação segundo o teor de metoxilação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Maçã

A produção de maçã na safra 2019/2020 no Brasil foi de 929 mil toneladas, 15% menor frente à safra anterior, decorrência de um inverno ameno e estiagem na região Sul. A menor oferta garantiu um melhor controle dos classificadores, alavancando os preços, mesmo de categorias de maçã inferiores. A área cultivada teve uma ligeira queda de 0,3%, devido à renovação de alguns pomares e plantios mais adensados. No Brasil, o maior cultivo se localiza no Sul do Brasil, principalmente nos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná. A produção de sucos de maçã, também não alcançou a demanda da safra anterior, mesmo com o aumento do brix e rendimento da produção. A menor oferta e boa procura internacional contribuiu para o aumento de 4% das exportações (ANUÁRIO, HORTIFRUTI BRASIL-2020).

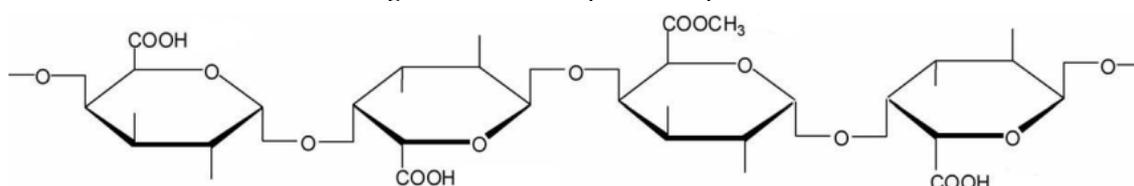
O bagaço da maçã pode representar de 20 a 40% da sua quantidade total. É constituído de casca e polpas (94,5%), sementes (4,4%) e centro do fruto (1%), contendo 80% de umidade, 5% de fibras (31% de celulose, 15% de lignina, 12% de hemicelulose e 9% de pectina insolúvel em água) e 14% de sólidos solúveis, correspondendo a glucose, frutose e sacarose. (NOGUEIRA *et al.*, 2005).

O bagaço apresenta-se como o principal subproduto gerado na agroindústria da maçã (HANG, 1987). A quantidade de bagaço produzida está diretamente relacionada com a tecnologia empregada na extração do suco de maçã que pode representar de 20-40% do peso das maçãs processadas (TURZA, 1995).

2.2 Pectina

A pectina pertence à família dos polissacarídeos, encontrada principalmente em paredes celulares de plantas. Como mostra a Figura 1, esse polissacarídeo é constituído por uma estrutura metil esterificada α -1,4 ligadas a D-ácidos galacturônicos e outros açúcares. Esse polissacarídeo dá a característica de textura firme nas frutas, o qual também contribui para as propriedades de adesão entre as células e resistência mecânica da parede celular (YAPO *et al.* 2006). É polimolecular e polidispersa, ou seja, é heterogênea com relação à estrutura química e à massa molecular, sua composição depende do ambiente, fonte e fatores da extração (IGLESIAS; LOZANO, 2004).

Figura 1: Estrutura química da pectina.



Fonte: Montagem de autoria própria a partir de imagem coletada de CHEN *et al.* (2006).

Devido à capacidade de geleificação depender da massa molar e grau de esterificação, pectinas de diferentes fontes não apresentam a mesma habilidade de formação de gel em função das variações nestes parâmetros. O grau de esterificação ou teor de metoxilação que é utilizado como classificação para as pectinas comerciais, indica a proporção dos grupos de ácidos galacturônicos presentes na pectina. Assim sendo, são divididas em pectinas com alto teor de metoxilação (ATM) que possuem grau de esterificação superior a 50% e pectinas com grau de esterificação inferior a 50% que são consideradas de baixo teor de metoxilação (BTM). O teor de metoxilação sofre influência da idade e localização dentro do tecido da planta e do método de extração. O teor de metoxilação reflete nas propriedades funcionais, tais como solubilidade e temperatura em que ocorrerá a geleificação (BIERHALZ, 2010).

A pectina de alto teor de metoxilação (ATM) é comumente aplicada no setor alimentício, para produção de geleias, concentrados de frutas para bebidas, gomas e produtos lácteos (MOLLEA; CHIAMPO; CONTI, 2008). As pectinas de baixo teor de metoxilação (BTM) podem formar géis estáveis e termo reversíveis na ausência de açúcar, por isso são amplamente aplicadas na indústria de dietéticos e de baixa caloria (BIERHALZ, 2010).

Segundo Fertoni (2006), o grau de esterificação é um dos aspectos mais importantes da estrutura da pectina devido à excelente correlação com a propriedade de formar gel que define a adequação de seu uso industrial. As pectinas de alta esterificação formarão gel em pH

próximo de 3,6 e na presença de co-solutos, açúcares com concentração maior que 65% e nas pectinas de baixa esterificação os géis são formados na presença de cálcio (GILSENAM; RICHARDSON; MORRIS, 2000)

De acordo com Constenla, Ponce e Lozano (2002) o grau de esterificação é afetado principalmente pelas condições de secagem da pectina. Os autores variaram a temperatura de secagem da maçã de 60°C a 105°C e os resultados mostraram que quanto maior a temperatura de secagem, maior é a perda de propriedades tais como, rendimento, minerais e os grupos carboxílicos.

2.3 Extração de pectina

As condições de extração apresentam importante influência sobre a natureza da pectina, tanto nos aspectos quantitativos quanto qualitativos, podendo ser modificadas (pH, temperatura, tempo) resultando em alterações no rendimento, na capacidade geleificante e no grau de esterificação.

A extração em meio ácido sob aquecimento é o método utilizado industrialmente para obtenção de pectinas a partir de resíduos industriais de sucos de frutas. Diferentes ácidos podem ser utilizados nesse processo. As condições são variáveis, geralmente o pH vai de 1,5 a 3,0 o tempo vai de 0,5 a 6,0 horas, em uma faixa de temperatura de 60°C a 100°C. A razão sólido-líquido é geralmente 1:18, sendo cerca de 1:15 para o bagaço de maçã desidratados (SAKAI *et al.*, 1993).

Schemin *et al.* (2005) realizaram um estudo em relação a extração ácida da pectina, confirmaram que o ácido nítrico é um bom agente extrator, porém, o ácido cítrico apresentou melhores resultados. Segundo Wang, Pagán e Shi (2002) a extração na presença de um ácido ou uma base em elevadas temperaturas ajudam no rompimento da parede celular, hidrolisando a protopectina e solubilizando as substâncias pécticas. No entanto, o rendimento e a qualidade dos polissacarídeos são fortemente afetados pela condição da extração (FERTONANI, 2006).

Além disso, segundo Paiva, Lima e Paixão (2009), a redução do pH inicial de extração permite obter os melhores rendimentos, no entanto, deve-se ter um equilíbrio, pois a redução exagerada acelera a degradação do polímero e a desesterificação da pectina.

Ademais, tem-se que considerar as variáveis tempo e temperatura no processo de extração que, segundo Kalapathy e Proctor (2001), um tempo de extração longo favorece a degradação da molécula de pectina de uma forma notória quando está associada a uma alta concentração do ácido.

3. MATERIAL E MÉTODOS

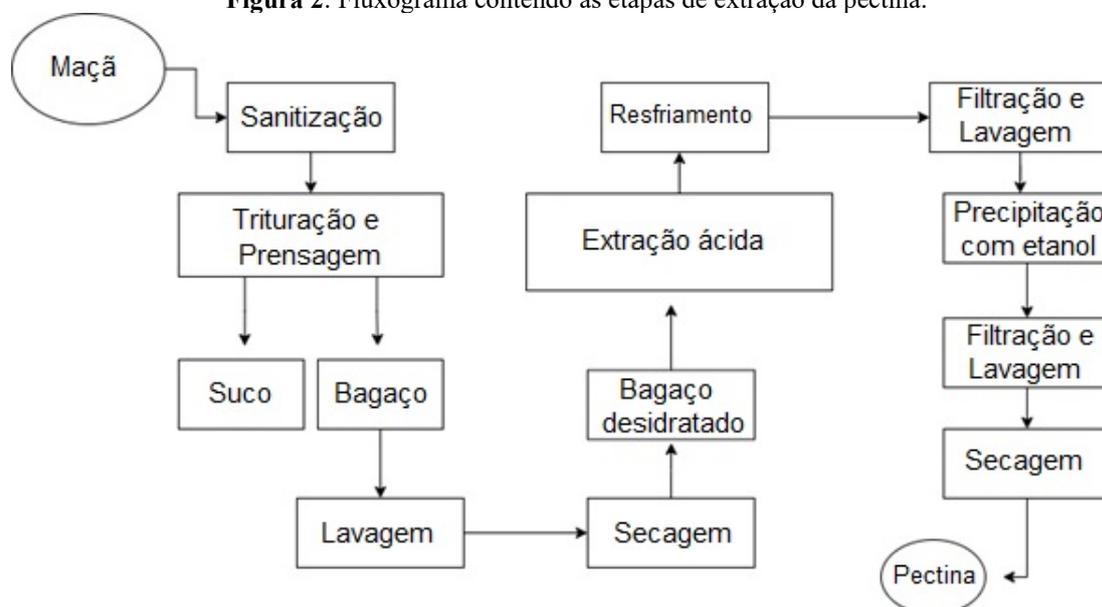
3.1 Material

A matéria-prima utilizada foi a maçã da variedade gala (*Malus domestica Bork*), adquirida no comércio local da região metropolitana de Belém (PA).

3.2 Metodologia

A extração foi realizada em meio ácido, sob aquecimento, por 25 min, em pH igual a 1,3 na faixa de temperatura de 78°C a 82°C, à razão sólido-líquido de 1:50. A Figura 2 mostra o fluxograma com o resumo das etapas presentes na metodologia deste trabalho, que são descritas detalhadamente nas seções seguintes.

Figura 2: Fluxograma contendo as etapas de extração da pectina.



Fonte: Autoria própria (2023).

3.2.1 Tratamento e preparo da matéria-prima

Selecionou-se 2kg de maçãs maduras, com tamanho e aparência uniformes. Em seguida lavou-se as com detergente e água, para retirar quaisquer sujidades, para em seguida serem imersas em uma solução clorada, 1 litro de água para 15 mL de água sanitária 2,5% de cloro ativo, por 15 minutos.

Com as maçãs higienizadas foi realizado o tratamento mecânico para fragmentação em um processador e posteriormente prensadas em um equipamento hidráulico para extração do suco e obtenção do bagaço. O bagaço obtido foi lavado com água à razão de 1:2 (m/v) à temperatura ambiente, por 30 minutos. O bagaço foi centrifugado para retirar o excesso de água

e levado à estufa de circulação de ar à temperatura de 60°C durante 48 horas até massa constante. O bagaço seco foi fragmentado em um liquidificador, a farinha advinda deste processo foi peneirada e a fração retida na peneira 60 mesh armazenada, à temperatura ambiente, em saco plástico.

3.2.2 Extração ácida da pectina

Para a extração de pectina seguiu-se a metodologia de Canteri (2010), com algumas modificações. Inicialmente foram medidos 8 g da fração retida da farinha do bagaço da maçã, a qual foi dissolvida em 200 mL de água destilada e hidratada por 10 minutos. Posteriormente, preparou-se uma solução ácida (6,2%) de igual volume, a partir do ácido cítrico a 1M e misturou-se com a farinha hidratada em uma razão final de sólido-líquido 1:50 (w/v).

A mistura foi aquecida até a temperatura de extração de 80°C ± 2°C e mantida por 25 minutos em manta aquecedora, conforme Figura 3. Em seguida, o balão foi imerso num recipiente contendo água e gelo. Após resfriado até 4°C, o conteúdo foi filtrado em tecido sintético morim e o extrato ácido líquido foi adicionado 2:1 de etanol 96°GL, sob agitação manual. O recipiente contendo o extrato foi deixado em repouso por 30 minutos, para precipitação do gel de pectina, filtrado em tecido sintético morim, lavado com água destilada e prensado levemente. O gel obtido foi pesado e conduzido à estufa de secagem convectiva a 55°C até massa constante.

Figura 3: Preparação das soluções e equipamentos utilizados na extração.



Fonte: Autoria própria (2022).

Legenda: 1: Solução de farinha de maçã+ água destilada (esquerda) e solução ácida (direita); 2: sistema de aquecimento 80°C, 25min.

3.2.3 Rendimento

O rendimento da pectina foi obtido a partir da quantidade inicial de matéria-prima utilizada e a quantidade de pectina extraída, ambas obtidas em base de massa seca, conforme a equação 1:

$$\text{Rendimento} = \frac{\text{pectina} \times 100}{\text{matéria prima inicial}} \quad (1)$$

3.2.4 Caracterização titulométrica da pectina

Para o grau de esterificação do ácido poligalacturônico utilizou-se a metodologia de Kliemann (2006). O procedimento para obtenção dos dados para determinação de K_f (percentual de grupos carbóxi livres) foi inicialmente misturar 0,4g de pectina seca com álcool etílico P.A (95 %), em seguida adicionar 40 mL de água destilada a 40 °C e agitar por 2 horas. Depois da agitação a solução da pectina foi titulada com solução de NaOH 0,1N com adição de fenolftaleína. O ponto de viragem foi determinado pela variação do pH até atingir o valor de 8,5. A equação 2 foi utilizada para o cálculo de K_f .

$$K_f = \frac{N_{NaOH} \times V_{NaOH} \times 0,045 \times 100}{a} \quad (2)$$

Em que K_f corresponde à porcentagem de grupos carbóxi livres, a é a porção da pectina pesada com absorção de água (g), N_{NaOH} é a normalidade da solução alcalina e V_{NaOH} , o volume da solução alcalina gasto durante a titulação (mL).

Para a determinação do percentual de grupos carbóxi esterificados (K_e) foram adicionados 20 mL de NaOH 0,1N na amostra neutralizada depois da determinação dos grupos carbóxi livres. A solução foi agitada por 2 horas para a saponificação dos grupos carbóxi esterificados do polímero. Em seguida adicionou-se 10 mL de HCl 0,1N à solução. O excesso de HCl foi titulado com NaOH 0,1N. A equação 3 foi utilizada para o cálculo de K_e

$$K_e = \frac{N_{NaOH} \times V_{NaOH} \times 0,045 \times 100}{a} \quad (3)$$

Em que K_e corresponde à porcentagem de grupos carbóxi esterificados, a é a porção da pectina pesada com absorção de água (g), N_{NaOH} é a normalidade da solução alcalina e V_{NaOH} , o volume da solução alcalina gasto durante a titulação (mL).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Rendimento da farinha de maçã desidratada

A Tabela 1 mostra os resultados dos rendimentos de farinha desidratada em relação a massa de maçã inicial e do bagaço.

Tabela 1: Rendimentos de farinha de maçã desidratada.

Material	Massa (g)	Rendimento de farinha (%)
Maçã	2000	1,7
Bagaço	674	5,0

Fonte: Autoria própria (2022).

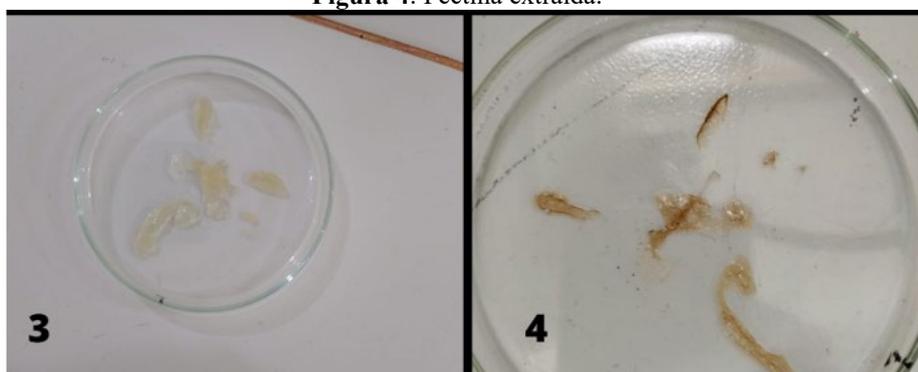
Da massa inicial de 2kg de maçã utilizada, obteve-se 674,0g de bagaço, após a extração do suco. A massa de farinha, depois do processo de secagem e trituração, foi de 33,9g. O rendimento da farinha em relação a quantidade inicial de massa de maçã utilizada foi de 1,70%, e o rendimento de farinha em relação ao bagaço foi de 5,0%.

4.2 Rendimento da Pectina

A massa de 0,4g de pectina seca gerou um rendimento de 32,96%, valor este, maior em comparação com Canteri *et al.* (2005), que extraíram a pectina de maçãs de diversas variedades com rendimento de 17,82%, obtidas com ácido cítrico à 6,2% em 100°C por 153 minutos.

A Figura 4 mostra a pectina obtida. A imagem da esquerda é a pectina úmida e a imagem da direita a pectina seca.

Figura 4: Pectina extraída.



Legenda: 3; pectina úmida; 4: pectina seca.
Fonte: Autoria própria (2022).

No trabalho de Scabio *et al.* (2006), utilizaram maçãs da variedade joaquina obtidas por a extração com ácido nítrico 100mMol/L, 97°C por 10 minutos e obtiveram um rendimento de 16,09%. No estudo de Canteri (2010), que utilizou uma metodologia semelhante, variando na temperatura de extração, 80°C por 20 minutos, utilizou maçãs catarinas e obteve um rendimento de 10,28%. No trabalho de Marcon *et al.* (2005) foram utilizadas maçã gala, com 5% de ácido cítrico. Os autores variaram tempo de extração e temperatura, obtendo o melhor valor de 16,8% de rendimento, com a temperatura de 100°C e 80 minutos de extração. Mesmo utilizando a mesma matéria-prima, houve uma diferença significativa nos resultados.

Os valores obtidos no presente trabalho foram muitos semelhantes ao do Virk e Sorgi (2004), no entanto, na sua metodologia realizaram três extrações com duração de 25 minutos cada e verificaram que o ácido cítrico foi o que obteve maior rendimento entre as variações de 0,02M, 0,05M de HCl e de 1% de ácido cítrico, já que, ácidos muito fortes principalmente alinhados a altas temperaturas, tendem a destruir as ligações pépticas.

Klienmann (2006) observou que os efeitos lineares de pH e temperatura influenciaram significativamente no rendimento da extração com ácido cítrico, devido a influência da temperatura elevada e pH ácido o que ocasionou a destruição de cadeias pépticas.

Fishman *et al.* (2000), demonstraram que pectinas expostas em aquecimento prolongado, tem as suas redes estruturais agregadas, dissociadas em componentes menores.

Os estudos têm mostrado que a diferença de rendimentos está relacionada com o pH da solução, tipo de ácido, tempo e temperatura. No Quadro 01 estão alguns resultados de rendimentos de pectina mostrando estas variações.

Quadro 01: Rendimentos de pectina de maçã.

Artigo	Extrator	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Rendimento (%)
Canteri (2010)	Ácido nítrico (6,2%)	80°C	20 min	10,28%
Marcon <i>et al.</i> (2005)	Ácido cítrico (5,0%)	100°C	80 min	16,8%
Canteri <i>et al.</i> (2005)	Ácido cítrico (6,2%)	100°C	153 min	17,82%
Virk e Sorgi (2004)	Ácido cítrico (1%)	-	25 min	30,34%
Autores (2023)	Ácido cítrico (6,2%)	80°C	25 min	32,96%

Fonte: Autoria própria a partir de dados extraídos dos Artigos Canteri (2010), Canteri *et al.* (2005) e Virk e Sorgi (2004).

4.3 Grau de esterificação (GE)

O grau de esterificação da pectina maçã gala (*Malus domestica* Bork) foi de 20,34%, sendo classificado como baixo grau de metoxilação (BTM), Neste caso, seu uso ideal é para alimentos dietéticos, já que, segundo Koubala *et al.* (2008), não necessita de uma grande quantidade de açúcares, pois consegue formar géis na presença de cátions divalentes como o cálcio, em uma faixa de pH de 2,5 a 7.

O Quadro 2 mostra as classificações GE (%) para maçã, em comparação com os dados encontrados na literatura.

Quadro 02: Grau de esterificação e classificação em teor de metoxilação para maçã.

Artigo	Extrator	GE (%)	Classificação
Virk e Sorgi (2004)	Ácido cítrico (1%)	33,44%	BTM
Canteri <i>et al.</i> (2005)	Ácido cítrico (6,2%)	68,84%	ATM
Canteri (2010)	Ácido Nítrico (6,2%)	76,0%	ATM
Autores (2023)	Ácido cítrico (6,2%)	20,34%	BTM

Fonte: Autoria própria a partir de dados extraídos dos Artigos Canteri (2010), Canteri *et al.* (2005), Virk e Sorgi (2004).

Quando comparados aos resultados obtidos neste trabalho, observa-se que o grau de esterificação da extração está próximo ao obtido por Virk e Sorgi (2004), no entanto, no trabalho de Canteri *et al.* (2005) e Canteri (2010), obtiveram uma pectina com valor alto para o

grau de esterificação apesar de ambas terem apresentado baixo rendimento. Segundo Scabio *et al.* (2007), as condições de extração resultaram num polissacarídeo menos degradado, com alto grau de esterificação, porém, baixo rendimento. Canteri *et al.* (2005), justificaram o seu alto grau de esterificação pelo grau de maturidade das maçãs.

De acordo com Blanco *et al.* (2019) e Abid *et al.* (2017) o grau de esterificação está intimamente ligado ao peso molecular, pH e à força iônica para formação de um gel com boas características. Quanto maior o grau, maior serão as interações hidrofóbicas pelo gel apresentando maior força de interação intermolecular.

Além disso, fatores como a localização geográfica da matéria-prima, a variedade utilizada e condições de extrações mais brandas influenciam na obtenção uma pectina mais viscosa e como consequência um aumento do grau de esterificação, e que, um baixo rendimento não implica em um baixo grau de esterificação (CANTERI, 2010).

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados, conclui-se que a metodologia empregada na obtenção da pectina a partir do bagaço desidratado da maçã gala se mostrou viável. Os resultados encontrados em relação ao rendimento e grau de esterificação foram satisfatórios em comparação com os encontrados na literatura, com a vantagem de terem sido obtidos em medidas inferiores de tempo e temperatura.

As condições da extração permitiram obter um produto de qualidade, ou seja, uma pectina apropriada para ser utilizada como pectina comercial. Isso mostra a potencialidade de subprodutos agroindustriais na formulação de novos ingredientes, agregando valor e abrindo caminho para novos mercados.

Considerando o que mostram os estudos, diferentes variáveis podem influenciar no rendimento e no grau de esterificação; sendo assim, para trabalhos futuros, recomenda-se um estudo mais detalhado da influência do pH, tempo e temperatura de extração.

REFERÊNCIAS

ABID, M. *et al.* Characterization of pectins extracted from pomegranate peel and their gelling properties. **Food Chemistry**, v. 215, p. 318-325, 2017. Disponível em: <Characterization of pectins extracted from pomegranate peel and their gelling properties - ScienceDirect>. Acessado em: Nov. 2022.

ANUÁRIO Hortifruti Brasil 2020-2021. Edição Especial – Ano 19, v. 207, Dez/2019 a Jan/2021. **Pesquisas de mercado desenvolvidas pela Equipe Hortifruti do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada** (Cepea). Disponível em <https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/retrospectiva-2020-perspectivas2021.aspx>. Acessado em: Abr. 2023.

BIERHALZ, A. C. K. **Confecção e caracterização de biofilmes ativos à base de pectina BTM e pectina BTM/alginato reticulados com cálcio**. 2010. 137 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://bvs.fapesp.br/pt/publicacao/76402/confeccao-e-caracterizacao>>. Acessado em: Set. 2022.

BLANCO, J. C. *et al.* Elaboración de una película plástica biodegradable a partir del almidón de yuca y pectina. **Revista CLIC**, v. 1, n. 1, p. 1-3, 2019. Disponível em: <Elaboración de una película plástica biodegradable a partir del almidón de yuca y pectina | Revista Clic (fitecvirtual.org)>. Acessado em: Out. 2022.

CANTERI M, H. *et al.* Extraction of pectin from apple pomace. **Brazilian archives of biology and technology**, v. 48, p. 259-266, 2005. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/babt/a/xS3NhspJ4CDv3Vbswc5zRRC/>>. Acessado em: Abr. 2023.

CANTERI, M. H. G. **Caracterização comparativa entre pectinas extraídas do pericarpo de maracujá-amerelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*)**. 2010. 86 f. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia de Alimentos, Curitiba, 2010. Disponível em: <UM (ufpr.br)>. Acessado em: Ago. 2022.

CHEN, C. H. *et al.* Suppression of endotoxin-induced proinflammatory responses by citrus pectin through blocking LPS signaling pathways. **Biochemical Pharmacology**, v. 72, p. 1001-1009, 2006.

CONSTENLA, D.; PONCE, A. G.; LOZANO, J. E. Effect of pomace drying on apple pectin. **Lebensmittel Wissenschaft Und-Technologie. Food Science and Technology**, v. 35, n. 3, p. 216-221, 2002. Disponível em:< Effect of Pomace Drying on Apple Pectin - ScienceDirect>. Acessado em: Set. 2022.

FERTONANI, H. C. R. Estabelecimento de um modelo de extração ácida de pectina de bagaço de maçã. 2006. 82 f. Tese de Mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2006.

FISHMAN, M. L. *et al.* Extrusion of pectin/starch blends plasticized with glycerol. **Carbohydrate Polymers**, v. 41, n. 4, p. 317-325, 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861799001174>>. Acessado em: Out. 2023.

GILSENAM, P. M.; RICHARDSON, R. K.; MORRIS, E. R. thermally reversible acid-induced gelation of low-methox pectin. **Carbohydrate Polymers**, n.41, p.339-349, 2000. Disponível em:< Thermally reversible acid-induced gelation of low-methoxy pectin - ScienceDirect>. Acessado em: Set. 2022.

HANG, Y. D. Production of fuels and chemicals from apple pomace. **Food Technology**, Chicago, v. 41, n. 3, p. 115-117, 1987. Disponível em: <

s://www.semanticscholar.org/paper/Production-of-fuels-and-chemicals-from-apple-pomace-Hang/c8c998b8206e78205a4d629ac9d4173ed943c2c0 >. Acessado em: Out. 2022.

IGLESIAS, M. T.; LOZANO, J. E. Extraction and characterization of sunflower pectin. **Journal of food engineering**, v. 62, n. 3, p. 215-223, 2004. Disponível em :< <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877403002346>>. Acessado em: Out. 2022

KALAPATHY, U.; PROCTOR, A. Effect of acid extraction and alcohol precipitation conditions on the yield and purity of soy hull pectin. **Food Chemistry**, v. 73, n. 4, p. 393-396, 2001. Disponível em: <Effect of acid extraction and alcohol precipitation conditions on the yield and purity of soy hull pectin - ScienceDirect>. Acessado em: Set. 2022.

KLIEMANN, E. **Extração E Caracterização Da Pectina Da Casca Do Maracujá Amarelo (Passiflora edulis flavicarpa)**. 2006. 75 f. Dissertação de Mestrado. (Setor de (Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Setor de Ciência dos Alimentos, Florianópolis, 2006. Disponível em: < Extração e caracterização da pectina da casca do maracujá amarelo (Passiflora edulis flavicarpa) (ufsc.br)>. Acessado em: Set. 2022.

KOUBALA, B. B. *et al.* Effect of extraction conditions on some physicochemical characteristics of pectins from “Améliorée” and “Mango” mango peels. **Food Hydrocolloids**, v.22, n. 7, p. 1345-1351, 2008. Disponível em: <Efeito das condições de extração sobre algumas características físico-químicas de pectinas de cascas de manga "Améliorée" e "Mango" - ScienceDirect>. Acessado em: Nov. 2022.

MARCON, M. V. *et al.* Pectins from apple pomace. **Polímeros**, v. 15, p. 127-129, 2005. Disponível em: <v15n1a01(scielo.br)>. Acessado em: Abr. 2023.

MOLLEA, C.; CHIAMPO, F.; CONTI, R. "Extraction and characterization of pectins from cocoa husks: A preliminary study." **Food Chemistry**. v.107, no. 3 p.1353-1356. 2008. Disponível em:< Extraction and characterization of pectins from cocoa husks: A preliminary study - ScienceDirect>. Acessado em: Set. 2022.

NOGUEIRA, A. *et al.* Avaliação da fermentação alcoólica do extrato de bagaço de maçã. **Semina**, Londrina, v.26, n.2, p 179-186 abr./jun., 2005. Disponível em: <Avaliação da fermentação alcoólica do extrato de bagaço de maçã (bvs-vet.org.br)>. Acessado em: Set. 2022.

PAIVA, E. P.; LIMA, M. S.; PAIXÃO, J. A. Pectina: propriedades químicas e importância sobre a estrutura da parede celular de frutos durante o processo de maturação. **Revista Iberoamericana de Polímero**, v. 10, n. 4, p. 196-211, 2009. Disponível em: <Paiva2009 Polimeros da parede celular_ importância.pdf (usp.br)>. Acessado em: Set. 2022.

SAKAI, T. *et al.* Pectin, Pectinase and Protopectinase: production, properties and applications. **Advances in applied microbiology**, v. 39, p. 213-294, 1993. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065216408705975> >. Acessado em: Abr. 2023.

SCABIO, A. *et al.* A model for pectin extraction from apple pomace. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 10, p 259-265, out.-dez. 2007.

SCHEMIN, M. H. *et al.* Extração de pectina da maçã pomace. **Arquivo Brasileiro de Biologia e Tecnologia**, 48, 259-266, 2005. Disponível em: < Redalyc.Influência da concentração de

ácidos no processo de extração e na qualidade de pectina de bagaço de maçã>. Acessado em: Out. 2022.

TURZA, R. C. M. C. **Aproveitamento biotecnológico dos resíduos provenientes da extração do suco de maçã por fermentação no estado sólido**. 1995. 81 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

WANG, Q.; PAGÁN, J.; SHI, J. **Pectin from fruits**. [S.l.]: CRC, p. 1-47. 2022.

YAPO, B. N. *et al.* Effect of extraction conditions on the yield, purity, and surface properties of sugar beet Pulp pectin extracts. **Food Chemistry**, 2006. Disponível em: < Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts - ScienceDirect>. Acessado em: Out. 2022.

VIRK, B. S.; SOGI, D. S. Extraction and characterization of pectin from apple (*Malus Pumila*. Cv Amri) peel waste. **International journal of food properties** v. 7, no. 3, p. 693-703, 2004. Disponível em: <www.tandfonline.com>. Acessado em: Out. 2022.

CAPÍTULO 8

INFLUÊNCIA DO TEMPO DE INCUBAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE PROTEASE DE *BACILLUS SUBTILIS* EM FERMENTAÇÃO SUBMERSA¹

Natália Bittencourt Melani
Caio Eduardo Soria Roque
Gabrielle Laporte Santos
Edgar Silveira
Elias Basile Tambourgi

RESUMO

O mercado de enzimas tem crescido a cada ano, especialmente as proteases (E.C. 3.4.), que são enzimas que quebram as ligações peptídicas entre os aminoácidos das proteínas. Os microrganismos representam uma fonte atraente de proteases, e entre eles, as cepas microbianas mais importantes utilizadas na produção de proteases são as espécies do gênero *Bacillus*. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do tempo de incubação de *Bacillus subtilis* na produção de protease. Nesta metodologia, a fermentação foi monitorada 72h quanto ao crescimento celular e atividade proteolítica no meio. Os resultados indicaram a melhor produção de protease às 60 horas, corroborando com a literatura. Assim, *Bacillus subtilis* foi capaz de produzir proteases e novas investigações dos parâmetros do meio de cultura são necessárias para aumentar a produção de enzimas.

PALAVRAS-CHAVE: Protease. Fermentação. Biotecnologia. Microbiologia. Bacillus.

1. INTRODUÇÃO

O cenário atual para o mercado de enzimas não é suficiente para atender a todas as necessidades industriais e de biotecnologia. Nesse contexto, os microrganismos são uma das maiores e mais úteis fontes de enzimas (ADRIO; DEMAIN, 2014). Atualmente, cerca de 4000 enzimas são conhecidas e, aproximadamente, 200 tipos microbianos são utilizados comercialmente (KUMAR *et al.*, 2014).

Proteases (E. C. 3. 4.) são enzimas que quebram ligações peptídicas entre os aminoácidos das proteínas, participando da maioria dos aspectos da nutrição, fisiologia e regulação das células, além da patogênese microbiana. Dependendo do seu local de ação, as proteases são categorizadas em dois grandes grupos, ou seja, exoproteases e endoproteases, e uma classificação adicional pode ser inserida dependendo do arranjo distinto de grupos funcionais presentes no sítio ativo da enzima (WARD *et al.*, 2009).

Estima-se que as proteases representem 1-5% do genoma de organismos infecciosos e 2% do genoma humano (PUENTE *et al.*, 2003). Segundo os pesquisadores, as proteases

¹ Órgão Fomentador: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

controlam a ativação, síntese e rotatividade de proteínas para regular processos fisiológicos, como formação, envelhecimento e até morte. Desde o advento da enzimologia, as proteolíticas microbianas têm sido a enzima mais estudada. Essas enzimas têm ganhado interesse não apenas por seu papel vital nas atividades metabólicas, mas também por sua imensa utilização nas indústrias (RAZZAQ *et al.*, 2019).

Em comparação com plantas e animais, os microrganismos representam uma fonte de protease atraente. Portanto, eles podem ser cultivados em grandes quantidades em um curto período de tempo por processos fermentativos. Esta operação resulta na produção abundante e regular do produto de interesse. Além disso, as enzimas secretadas por eles têm uma vida útil mais longa e podem ser armazenadas por semanas sem perda significativa de atividade (SHARMA *et al.*, 2017).

O uso de proteases de origem microbiana no setor industrial é limitado por sua qualidade e custo. O crescente interesse em usar proteases para a produção de vários bens ecológicos no mercado é de imensa importância e, para tornar os produtos econômicos, os cientistas estão em busca de um substrato barato para a produção de enzimas. Quase dois quartos do custo de produção devem-se ao substrato de crescimento microbiano, onde tanto o substrato sólido quanto a fermentação submersa são explorados para a produção econômica de proteases microbianas (RAZZAQ *et al.*, 2019).

O desempenho da protease é influenciado por diversos fatores, como pH do processo industrial, resistência iônica, temperatura e manuseio mecânico. Enzimas recentes descobertas com novas propriedades que podem melhorar ainda mais o processo industrial estão sempre em demanda (SHARMA *et al.*, 2017). Todas as proteases microbianas industriais predominantes são enzimas extracelulares secretadas no meio de cultura (WARD; RAO; KULKARNI, 2011).

A soja é um dos alimentos mais nutritivos que pode ser obtido a um preço acessível. Quanto à sua composição, estima-se que 100 g de soja cozida contenha cerca de 16,6 g de proteína, 6,0 g de fibra, 9,9 g de carboidrato, 9,0 g de gordura, e 3,0 g de açúcar (ARNARSON, 2019). Além disso, o uso potencial da soja como fonte economicamente viável de nutrientes para meios alternativos de crescimento é atrativo. A soja contém nove aminoácidos essenciais, como valina, metionina, triptofano, treonina, fenilalanina, lisina, leucina, isoleucina e histidina (MONTE SINGER *et al.*, 2020).

Em uma outra aplicação para soja como substrato para crescimento de *Bacillus subtilis*, Malik, Simarani e Aziz (2022) demonstraram a utilização de um meio sólido para crescimento

de colônias empregando soja em sua composição. O ágar soja teve desempenho comparável ao ágar nutriente, uma vez que as características morfológicas das colônias de *B. subtilis* formadas em ambos os foram comparáveis em termos de textura, margem, propriedades ópticas, cor, elevação e forma.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo a investigação da influência do tempo de incubação na densidade celular e na produção de proteases de *Bacillus subtilis* CBMAI-1302 utilizando farinha de soja como material de baixo custo para a produção de enzimas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Condições de Cultivo

O pré-inóculo da fermentação submersa com *Bacillus subtilis* CBMAI-1302 foi preparado em frasco de Erlenmeyer de 125 mL contendo 15 mL do meio de cultura previamente esterilizado composto por glicose (4%) e peptona (1%) e agitado a 200 rpm durante 6 horas à temperatura ambiente. Em seguida, 10 mL foram transferidos para um novo frasco de Erlenmeyer de 250 mL contendo 100 mL do mesmo meio de cultivo e agitado durante 12 horas nas mesmas condições anteriores. Posteriormente, a densidade óptica foi medida usando um espectrofotômetro a 625 nm (comprimento de onda) para o crescimento celular e as concentrações foram ajustadas para 0,08-0,1 O.D.

Para o processo de fermentação, 10% do volume de inóculo foi transferido para 250 mL de frascos esterilizados contendo 100 mL de meio de cultura com glicose (1%), peptona (0,5%), extrato de levedura (0,5%) e farinha de soja (5%). O meio foi agitado a 200 rpm à temperatura ambiente. Em seguida, 1 mL de amostra de alíquota foi coletado em intervalos de 12 horas para monitorar a atividade proteolítica e a densidade óptica.

2.2 Atividade Proteolítica

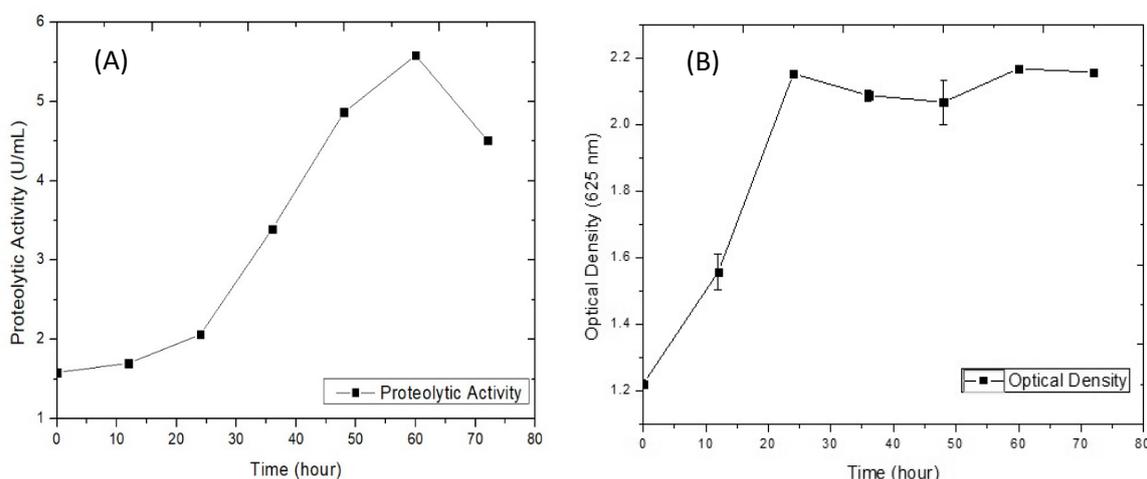
A atividade proteolítica foi realizada utilizando azocaseína como substrato. De acordo com a metodologia descrita por Charney e Tomarelli (1947), 125 µL de extrato enzimático foram incubados com solução de 125 µL contendo azocaseína a 1% em tampão fosfato de sódio 0,1 M e pH 7,0 por 15 min a 37 °C. A reação foi interrompida com a adição de 750 µL de ácido tricloroacético (TCA) a 5% e posteriormente centrifugada a 6.000 g por 5 min a 25°C. Em seguida, 1 mL de hidróxido de sódio 0,5 M (NaOH) foi adicionado ao sobrenadante. As atividades proteolíticas foram quantificadas por espectrofotômetro a 440 nm, e o branco foi dado pela substituição do extrato enzimático por água destilada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A síntese de protease por espécies de *Bacillus* é controlada por mecanismos operacionais durante o estado de transição entre as fases de crescimento exponencial e estacionário. Esse acontecimento ocorre enquanto a cultura estava metabolicamente ativa (ASHA; PALANISWAMY, 2018). O tempo de incubação desempenha um papel importante na produção máxima de enzima durante o processo de fermentação. No presente estudo, a produção de protease foi gradualmente aumentada de 12 horas para 60 horas e atingiu a atividade máxima de 5,6 U/mL (Figura 1A). Nessas condições, a produção de protease por *Bacillus subtilis* CBMAI-1302 foi menor do que outras espécies de *Bacillus*, de acordo com relatos da literatura (REKIK *et al.*, 2019; KHURSO, 2016; SANTHI, 2014). Portanto, sugere-se fortemente a realização de novos estudos de otimização de meios para aumentar a síntese dessa biomolécula.

Para o crescimento celular, a fase exponencial pode ser observada nas primeiras 24 horas de cultivo, onde os tempos subsequentes indicaram uma fase estacionária da curva de crescimento (Figura 1B). De acordo com Khusro (2016), o declínio da protease atividade na fase posterior do crescimento pode estar associada à depleção de nutrientes no meio de fermentação, no qual causa estresse na cultura e, conseqüentemente, condições não ideais para as bactérias. Esses fatores podem ser resultado na redução da atividade enzimática.

Figura 1: Influência do tempo de incubação para a produção de protease (A) e densidade celular (B).



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

O aumento da produção de protease de espécies de *Bacillus* pode ser observado entre 48-72 horas de incubação. Singh e Bajaj (2015) analisaram o crescimento e o ensaio de protease em diferentes intervalos de tempo durante a fermentação. Eles obtiveram produção máxima de

enzimas por *Bacillus subtilis* K-1 após 72 h, enquanto o crescimento máximo foi alcançado em 48 h, que então permaneceu constante.

Por outro lado, Santhi (2014) relatou que a produção de protease foi gradualmente aumentada a partir de 12 horas e atingiu a atividade máxima em 48 horas durante o processo de fermentação usando *Bacillus cereus*. Além disso, Asha e Palaniswamy (2018) também estudaram a produção de protease de *Bacillus cereus* e o melhor resultado foi encontrado às 48 h de incubação. No entanto, 89% e 82% da atividade da protease foram mantidos às 60 h e 72 h de incubação, respectivamente. Portanto, os resultados expostos na Figura 1(A) e na Figura 1(B) estão de acordo com os relatos da literatura.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As proteases CBMAI-1302 de *Bacillus subtilis* foram produzidas por fermentação submersa e a atividade máxima foi registrada em 60 horas. Além disso, a densidade celular indicou um aumento do crescimento nas primeiras 24 horas de fermentação e manteve-se constante. Esses resultados estão de acordo com a literatura, demonstrando que a utilização de materiais de baixo custo, como a farinha de soja, na produção de moléculas de interesse comercial, tem o potencial de contribuir para a redução de custos do processo, podendo contribuir para aplicação industrial e competição com agentes químicos que estão atualmente no mercado. Vale ressaltar que novos estudos explorando diferentes fontes de nitrogênio carbono, pH e temperatura são importantes para encontrar as condições ótimas de produção de proteases secretadas por *B. subtilis* CBMAI-1302.

REFERÊNCIAS

ADRIO, J. L.; DEMAIN, A. L. Microbial enzymes: tools for biotechnological processes. **Biomolecules**, v. 4, n. 1, p. 117-139, 2014. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2218-273X/4/1/117>. Acessado em: Abr. 2023.

ASHA, B.; PALANISWAMY, M. Optimization of alkaline protease production by *Bacillus cereus* FT 1 isolated from soil. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, v. 8, n. 2, p. 119-127, 2018. Disponível em: http://japsonline.com/abstract.php?article_id=2563. Acessado em: Abr. 2023.

ARNARSON, A. Soybeans 101: Nutrition Facts and Health Effects. **Healthline**. 2019. Disponível em: <https://www.healthline.com/nutrition/soybeans#nutrition>. Acessado em: Abr. 2023.

CHARNEY, J.; TOMARELLI, R. M. A colorimetric method for the determination of the proteolytic activity of duodenal juice. **Journal of Biological Chemistry**, v. 171, p. 501-505,

1947. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19481400116>. Acessado em: Abr. 2023.

KHUSRO, A. One Factor at A Time based optimization of protease from poultry associated *Bacillus licheniformis*. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, v. 6, n. 3, p. 088-095, 2016. Disponível em: https://japsonline.com/abstract.php?article_id=1808. Acessado em: Abr. 2023.

KUMAR, V. *et al.* Global market scenario of industrial enzymes. Industrial enzymes: Trends, scope and relevance. **Nova Science Publishers**, New York, p. 173-196, 2014. Disponível em: <https://novapublishers.com/shop/industrial-enzymes-trends-scope-and-relevance/>. Acessado em: Abr. 2023.

MALIK, N. H. A.; SIMARANI, K.; AZIZ, M. A. Soybean as an alternative nutrient medium for *Bacillus subtilis* growth. **Malaysian Applied Biology**, v. 51, n. 4, p. 67-74, 2022.

PUENTE, X. S. *et al.* Human and mouse proteases: a comparative genomic approach. **Nature Reviews Genetics**, v. 4, n. 7, p. 544-558, 2003. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nrg1111>. Acessado em: Abr. 2023.

RAZZAQ, A. *et al.* Microbial proteases applications. **Frontiers in bioengineering and biotechnology**, v. 7, p. 110, 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2019.00110/full>. Acessado em: Abr. 2023.

REKIK, H. *et al.* Production, purification and biochemical characterization of a novel detergent-stable serine alkaline protease from *Bacillus safensis* strain RH12. **International journal of biological macromolecules**, v. 121, p. 1227-1239, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813018349419>. Acessado em: Abr. 2023.

SANTHI, R. Microbial production of protease by *Bacillus cereus* using cassava waste water. **European Journal of Experimental Biology**. v. 4, p. 19-24, 2014. Disponível em: <https://www.primescholars.com/articles/microbial-production-of-protease-by-bacillus-cereus-using-cassavawaste-water.pdf>. Acessado em: Abr. 2023.

SHARMA, K. M. *et al.* Microbial alkaline proteases: Optimization of production parameters and their properties. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 15, n. 1, p. 115-126, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687157X17300094>. Acessado em: Abr. 2023.

SINGER, W. M. *et al.* Soybean amino acids in health, genetics, and evaluation. **Soybean for human consumption and animal feed**, 2019, p.7- 14. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/69396>. Acessado em: Abr. 2023.

SINGH, S.; BAJAJ, B. K. Medium optimization for enhanced production of protease with industrially desirable attributes from *Bacillus subtilis* K-1. **Chemical Engineering Communications**, v. 202, n. 8, p. 1051-1060, 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00986445.2014.900052>. Acessado em: Abr. 2023.

WARD, O. P. 3.49 - Proteases. In: MOO-YOUNG, M. **Comprehensive Biotechnology (Second Edition)**. Burlington: Academic Press, 2011. p. 571–582. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7151786/>. Acessado em: Abr. 2023.

WARD, O. P.; RAO, M. B.; KULKARNI, A. Proteases, Production. In: SCHAECHTER, M. **Encyclopedia of Microbiology (Third Edition)**. Oxford: Academic Press, 2009. p. 495–511.

CAPÍTULO 9

ESTUDOS SIMULADOS DE ADSORÇÃO DE CHUMBO COM A MACRÓFITA AQUÁTICA CABOMBA CAROLINIANA COMO BIORSORVENTE

Adriano Cosme Pereira Lima
Tahise Neiva Campodonio
José Luiz Cunha Cordeiro
Taise Bomfim de Jesus
Suzana Modesto de Oliveira Brito

RESUMO

Dentre os elementos que contaminam os corpos hídricos, o chumbo se destaca pois pode se dissolver na coluna d'água, acumular nos sedimentos e ser incorporado na matéria orgânica em suspensão ou pela biota aquática. Este trabalho estuda a adsorção de chumbo pela da biomassa de Cabomba caroliniana, para viabilizar seu potencial como biossorvente no tratamento de áreas contaminadas. O material foi coletado manualmente e seco em estufa, triturado e peneirado para ajuste de granulometria. A caracterização do material foi feita por difratometria de raios x, análise térmica, acidez e basicidade superficial e pH de carga zero. Os testes de adsorção foram feitos em batelada, variando-se a concentração inicial, o tempo de contato e a temperatura. A cabomba se mostrou um adsorvente promissor para Pb(II), com capacidade de adsorção de Langmuir de 0,18 mg de Pb(II) por grama de adsorvente. A cinética do processo é descrita pela equação de pseudo-segunda ordem e a difusão na solução é a etapa limitante da velocidade do processo. O processo é exotérmico, ocorre com diminuição de entropia e as energias livres de Gibbs obtidas indicam que o processo é espontâneo em temperaturas próximas a ambiente. Os resultados termodinâmicos também indicam um processo de adsorção física.

PALAVRAS-CHAVE: Bioadsorção. Macrófitas Aquáticas. Adsorção de Chumbo.

1. INTRODUÇÃO

A água tem diversos usos desde o surgimento da humanidade e sempre foi determinante não só para a sobrevivência dos seres vivos, como também para o desenvolvimento econômico. Contudo, diversos estudos têm revelado que nos últimos anos a qualidade ambiental das bacias hidrográficas tem sido comprometida pelas atividades antrópicas sem planejamento, o que tem contribuído para a degradação da qualidade e disponibilidade de água (ALMEIDA-FURANO, 2010; TORRES, 2013; SILVA, 2015).

Análises de compartimentos aquáticos têm constatado elementos químicos acima dos limites permitidos pela legislação nos ecossistemas aquáticos (RAI, 2010; TRINDADE, 2012; DE JESUS, 2015). Os maiores problemas de alguns elementos químicos nos diferentes compartimentos ambientais são a toxicidade e permanência no ambiente, podendo ser transferidos e acumulados dentro da cadeia trófica.

Dentre os elementos químicos que desaguam nos corpos hídricos, provenientes das atividades antrópicas, o chumbo se destaca pelo poder de se dissolver na coluna d'água,

acumular nos sedimentos, ser incorporado na matéria orgânica em suspensão ou pela biota aquática, podendo ser transferido para a cadeia alimentar, prejudicando a saúde, a segurança e o bem-estar da população e dos organismos aquáticos (RAI, 2010; ESPINOZA-QUIÑONES, 2009; WU, 2012).

A biorremediação de metais pesados é uma das tecnologias mais promissoras para purificação de corpos d'água, com a vantagem do uso de biomateriais de baixo custo e ambientalmente sustentáveis. Dentro do grupo dos vegetais aquáticos, encontram-se as macrófitas, que exercem grande importância ambiental e ecológica, tanto em ambientes aquáticos como terrestres, pois funcionam como refúgio de aves e predadores, servem de substrato para algas e invertebrados, são fornecedores de alimentos para peixes e anfíbios, além de participar do equilíbrio dos ciclos biogeoquímicos (SHABANI, 2012).

Entretanto, a grande produção de biomassa vegetal gerada por essas espécies pode gerar efeitos negativos para o corpo d'água, como a formação de lodo, redução da profundidade, aumento da demanda de oxigênio, liberação de mau cheiro, redução da circulação das águas e falta de luminosidade, contribuindo com isso para a eutrofização, inviabilizando a navegação, a pesca e as atividades recreativas (BRANCO, 1986). O uso dessa biomassa como adsorvente em processos de adsorção externos ao meio aquático pode ser uma forma interessante de aproveitar o excesso de plantas no ambiente e ainda remover metais pesados de efluentes poluídos.

Diversos métodos têm sido propostos na literatura para remoção de chumbo de soluções aquosas, como adsorção, fotocatalise, filtração com membranas, eletrólise, entre outros. A adsorção é considerada uma das melhores técnicas para remoção de metais pesados, mas o alto custo de alguns adsorventes limita o uso deste procedimento (SILVA, 2018).

Para ser considerado como de baixo custo, um adsorvente deve ter alta seletividade, facilitar a separação rápida, possuir cinética e termodinâmica favoráveis ao processo de adsorção e estar disponível como subproduto de processos agrícolas ou industriais, ou como material natural em grande quantidade (TRIPATHI, 2015; BABEL, 2003).

Materiais lignocelulósicos parecem se comportar como bons adsorventes para diversos poluentes e diferentes tratamentos físicos e/ou químicos têm sido aplicados a esses materiais para melhorar sua capacidade de adsorção (SABA, 2016). Esses biossorventes são de origem natural e geralmente estão disponíveis em grande quantidade, o que torna o processo de biossorção atraente do ponto de vista econômico (JACQUES, 2007).

Para Espinoza-Quiñones *et al.* (2009), a técnica de adsorção de metais pesados por plantas aquáticas não vivas é uma alternativa viável para a remoção de poluentes de ambientes aquáticos. O uso de macrófitas aquáticas como adsorvente para metais pesados é considerado eficiente por diversos autores (MÓDENES, 2009). Além disso, reduz custos e gera menos rejeitos, com a grande vantagem de controlar o excesso de plantas nos ecossistemas aquáticos, minimizando os impactos negativos sobre a pesca, geração de energia, navegação e lazer.

A *Cabomba caroliniana* é uma espécie de macrófita aquática pertencente à família Cabombaceae, que é produzida em grandes quantidades em águas doces e ambientes lênticos, ocorrendo desde as regiões de climas temperados até as de climas tropicais. Descrita por A. Gray é a mais cultivada no continente americano, sendo conhecida popularmente como cabomba-verde. Segundo Lima *et al.* (2014) a cabomba é uma espécie capaz de absorver e acumular chumbo nos seus tecidos vegetais vivos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de adsorção de chumbo pela da biomassa inativa de *Cabomba caroliniana*, em ambiente simulado de bancada para viabilizar seu potencial como biossorvente no tratamento de áreas contaminadas.

2. METODOLOGIA

2.1. Coleta e preparação do bioadsorvente

O material foi coletado manualmente e acondicionado em sacos plásticos perfurados para proporcionar o escoamento da água e evitar a decomposição anaeróbica. As amostras foram inicialmente lavadas em água corrente para a eliminação de detritos e matéria orgânica. Após a lavagem, foram colocadas para secar ao sol, em temperatura ambiente. Em seguida, foram secas em estufa com circulação de ar a 65 C° por 48 horas. Após esse período, todo o material foi triturado em moinho do tipo IKA A11 Basic S32 e peneirado em malha de 2,0 mm. Não foram feitos outros tratamentos no material.

2.2. Caracterização física do adsorvente

Os difratogramas de Raios-X das amostras foram obtidos com um equipamento Shimadzu XRD-6000, operando com radiação CuK α em voltagem de 40 kV, corrente de 30 mA e monocromador de grafite, na região de 5 – 80° 2 θ com velocidade de 2°.min⁻¹.

As análises de TG e DTA foram feitas em um equipamento Shimadzu TGA-60H, de 25 a 1000°C com taxa de aquecimento de 10°C.min⁻¹ sob fluxo de ar sintético de 50 mL/min.

2.3. Reagentes e soluções

Para os testes de adsorção foram preparadas soluções contendo íons Pb^{2+} na faixa de concentrações de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ a $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$, a partir de solução padrão de 1000 mg.L^{-1} Specsol. Essas soluções foram usadas tanto para os testes de adsorção como para as curvas de calibração.

2.4. Testes de adsorção

Alíquotas de 25 mL das soluções de Pb^{2+} de concentração variando entre $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ e $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ foram colocadas em erlenmeyer de 125 mL e adicionou-se 0,5 g do biossorvente. As amostras foram então submetidas à agitação à temperatura de 25°C , por períodos de 2, 6, 12 e 24 horas.

Após cada período, as soluções foram filtradas e a concentração final de Pb^{2+} foi determinada por espectrometria de absorção atômica de chama (FAAS) em equipamento Avanta GBC, modelo HG-3000 com chama ar-acetileno e com lâmpada de cátodo-oco de Pb, no comprimento de onda de 217 nm.

2.5. pH das suspensões de adsorvente

O procedimento foi o mesmo adotado por Al-Degs *et al* (2000). As amostras foram agitadas em água destilada numa proporção de 10% (m/v) por 3 horas a temperatura ambiente e o pH foi medido com um potenciômetro MARTE MB-10 e um eletrodo de vidro.

2.6. Acidez e basicidade superficiais

Os estudos de acidez e basicidade superficiais foram feitos de acordo com Al-Degs *et al*. (2000). Para determinação da acidez superficial as amostras foram agitadas em 10 mL de uma solução $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$ de hidróxido de sódio por 24 horas a temperatura ambiente. Após esse período as amostras foram filtradas e o NaOH remanescente na solução foi titulado com ácido clorídrico $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$ utilizando um potenciômetro MARTE MB-10 e um eletrodo de vidro. A basicidade da superfície foi determinada de modo similar, usando uma solução de HCl $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$ para agitação. O ácido residual foi titulado com NaOH $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$. Os resultados foram expressos em mmol de H^+ ou OH^- por grama de adsorvente.

2.7. pH do ponto de carga zero (pH_{PZC})

O pH de carga zero das amostras foi determinado conforme descrito em Brito *et al* (2010). Doze frascos contendo soluções de pH na faixa de 2 a 13 (pH_0) e 0,1g de adsorvente foram agitados por 24 horas a temperatura ambiente e o pH final foi medido com um potenciômetro MARTE MB-10 e um eletrodo de vidro. A diferença entre o pH final e o pH

inicial (ΔpH) foi plotada versus o pH inicial e o ponto onde $\Delta\text{pH} = 0$ foi tomado como pH do ponto de carga zero (pH_{PZC}).

2.8. Efeito do pH da solução na adsorção

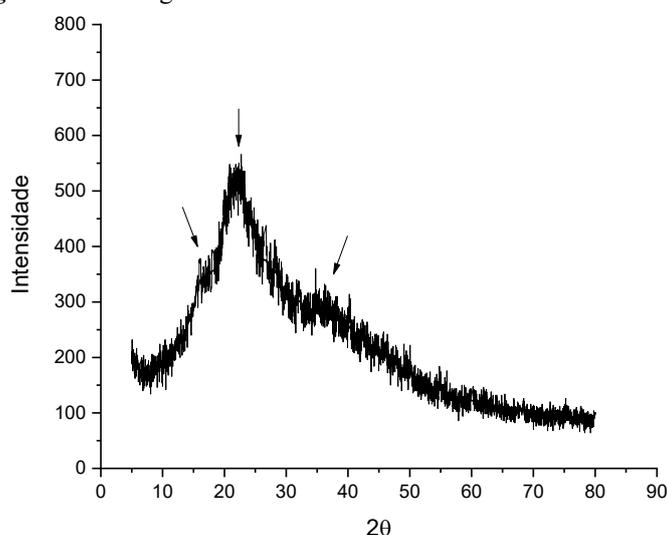
Para estudar o efeito do pH na adsorção, o pH das soluções de íons Pb^{2+} foi ajustado na faixa de 2 a 12 através da adição de NaOH $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ ou HCl $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$. As soluções, com concentração inicial de 0,1 a $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$, foram então agitadas com 0,5 g de adsorvente, à temperatura ambiente por 24 horas. As concentrações finais foram medidas por espectrometria de absorção atômica de chama em equipamento Avanta GBC, modelo HG-3000 com chama ar-acetileno e lâmpada de cátodo-oco de Pb, no comprimento de onda de 217 nm. O pH foi medido usando um potenciômetro MARTE MB-10 com eletrodo de vidro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Difratoograma de raios-X

O difratograma de raios x da cabomba é mostrado na figura 1. O difratograma é típico de materiais vegetais, com baixa cristalinidade.

Figura 1: Difratoograma de Raios X da amostra de Cabomba-verde.



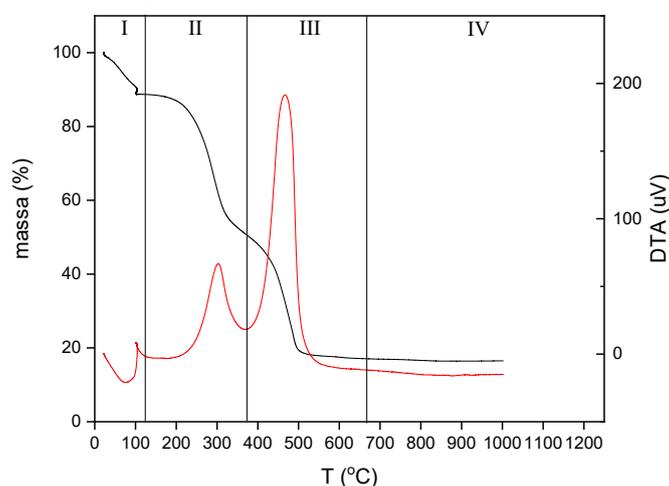
Fonte: Autoria própria (2022).

O ombro a cerca de $16^\circ 2\theta$ pode ser atribuído a sobreposição dos picos correspondentes aos planos (1,-1,0) e (1,1,0) da celulose em amostras com alto conteúdo de material não cristalino, como lignina e hemicelulose, conforme já reportado por Tserki *et al* (2005) e Ghali *et al* (2009) [24]. Os picos a $22^\circ 2\theta$ e $34,9^\circ 2\theta$ correspondem aos planos (0,0,2) e (0,4,0) da celulose, respectivamente (MARTIN, 2009; PARK, 2010). Esses resultados mostram que o material é formado principalmente por lignina e celulose, como esperado de material vegetal.

3.2. Análise Termogravimétrica

A figura 2 mostra o resultado da análise termogravimétrica da cabomba-verde em atmosfera de ar sintético.

Figura 2: Análise termogravimétrica da cabomba verde em atmosfera de ar sintético.



Fonte: Autoria própria (2022).

Pode-se observar a presença de quatro regiões de perda de massa no gráfico. A região I, até aproximadamente 120°C pode ser atribuída a evaporação de água. A região II, que vai de 120 a 370°C, com um máximo em 300°C, pode ser atribuída a decomposição da celulose e hemicelulose em ar (SILVA, 2016; YANG, 2007). A região III, que vai de aproximadamente 370°C até 670°C, com um máximo em 470°C, pode ser atribuída à decomposição da lignina (PATHAK, 2016). A região IV do gráfico corresponde ao material totalmente transformado em cinzas.

3.3. Estudos de acidez e basicidade da superfície

A tabela 1 mostra os resultados de acidez e basicidade superficiais para a amostra de cabomba-verde.

Tabela 1: Acidez e basicidade da superfície da amostra de cabomba-verde.

Acidez (mmolH⁺/g)	0,82
Basicidade (mmolOH⁻/g)	0,58

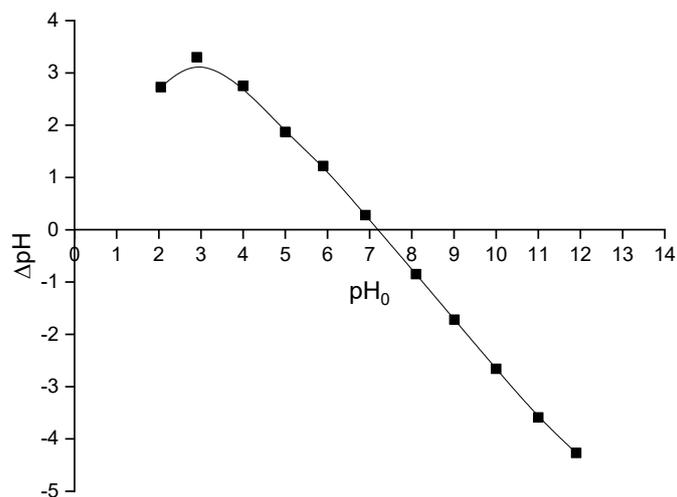
Fonte: Autoria própria (2022).

A amostra apresenta maior quantidade de sítios ácidos, indicando que pode ser um bom adsorvente para poluentes catiônicos como sugerido por Pathak *et al.* (2016).

3.4. pH do ponto de carga zero

O pH do ponto de carga zero dá indicações sobre o grau de ionização da superfície do adsorvente e sua possível interação com o adsorbato. A Figura 3 mostra os resultados da determinação do pH do ponto de carga zero para a amostra de cabomba-verde.

Figura 3: Determinação do pH do ponto de carga zero para a amostra de cabomba-verde.



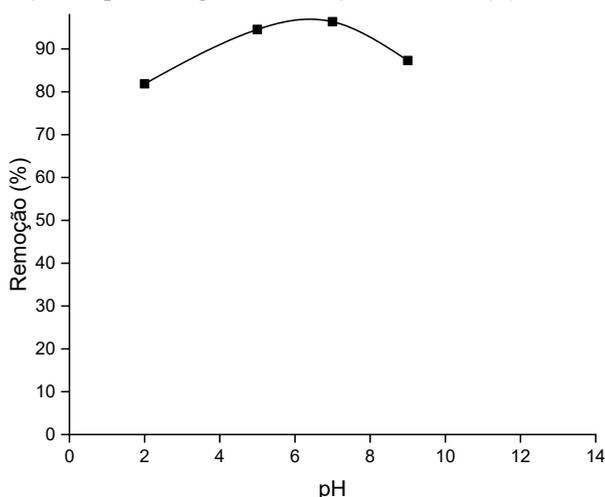
Fonte: Autoria própria (2022).

Geralmente a superfície do adsorvente se torna positiva se aceitar prótons da solução ou negativa se perder prótons para a solução. O pH onde a superfície do adsorvente é neutra é representado como pH_{PZC} (CEROVIC, 2007). O pH do ponto de carga zero para a cabomba verde é foi encontrado como sendo 7,20. Isso significa que em $\text{pH} > 7,20$ a superfície da cabomba verde é negativamente carregada e em $\text{pH} < 7,20$ a superfície se torna carregada positivamente. Dessa forma, um aumento no pH da solução deve favorecer a adsorção de íons Pb(II) .

3.5. Efeito do pH da solução na adsorção

A variação da remoção de chumbo com o pH é mostrada na Figura 4. Pode-se observar que ocorre um aumento na remoção com o aumento do pH até aproximadamente $\text{pH} = 7,00$ quando a remoção começa a diminuir. Este comportamento está de acordo com os resultados de pH do ponto de carga zero ($\text{pH}_{\text{PZC}} = 7,20$), que indicam que a adsorção de chumbo deve aumentar com o aumento do pH. Em baixos valores de pH os sítios de adsorção podem estar ocupados pelos íons H_3O^+ , o que reduz as vacâncias para adsorção de chumbo (KUMAR, 2014), enquanto a diminuição da adsorção acima de $\text{pH} = 7$ pode ser atribuída à formação de hidróxidos de chumbo (KUMAR, 2014; NOVAIS, 2016). Para os experimentos posteriores, adotou-se o $\text{pH} = 7,0$ como parâmetro de controle.

Figura 4: Variação da porcentagem de remoção do íon Pb(II) da solução com o pH.

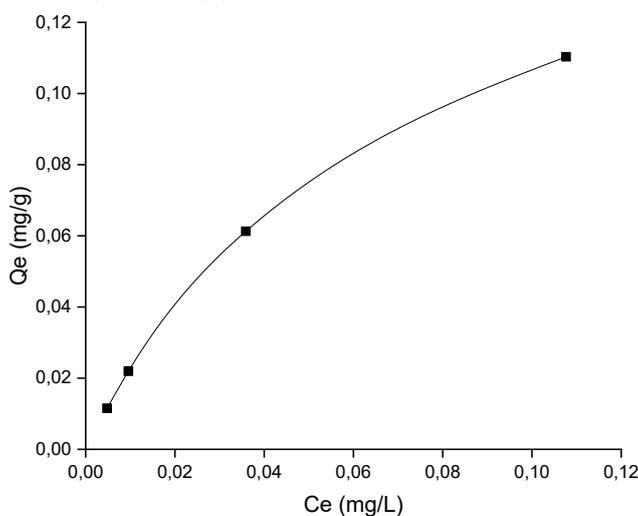


Fonte: Autoria própria (2022).

3.6. Isotermas de Adsorção

A isoterma de adsorção de Pb(II) sobre cabomba verde para um tempo de contato de 24 horas, à temperatura ambiente e pH = 7,00 é mostrada na Figura 5.

Figura 5: Isoterma de adsorção de Pb(II) sobre cabomba verde. T = 298K, t = 24 horas, pH = 7,00.



Fonte: Autoria própria (2022).

A linearização das isotermas foi feita segundo os modelos de Langmuir e Freundlich e as figuras 6 e 7 mostram o resultado obtido. A isoterma de Langmuir e sua forma linearizada são descritas pelas equações 1 e 2, respectivamente. A isoterma de Freundlich e sua equação linearizada são representadas pelas equações 3 e 4, respectivamente.

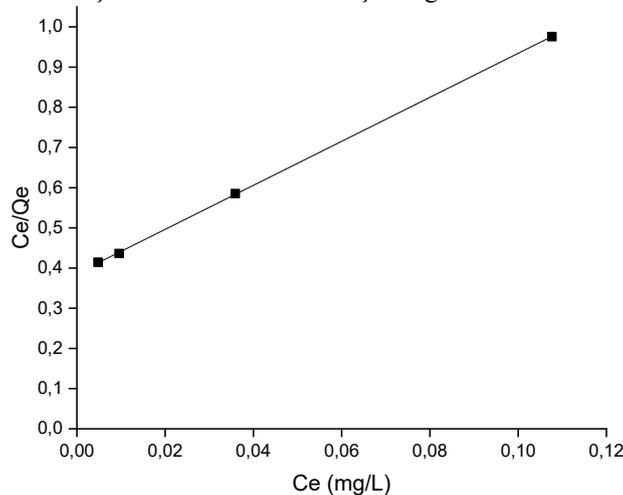
$$\text{Equação 1} \quad Q_e = \frac{Q_{\max} K_L C_e}{1 + K_L C_e}$$

$$\text{Equação 2} \quad \frac{C_e}{Q_e} = \frac{C_e}{Q_{\max}} + \frac{1}{K_L Q_{\max}}$$

Equação 3
$$Q_e = K_F C_e^{1/n}$$

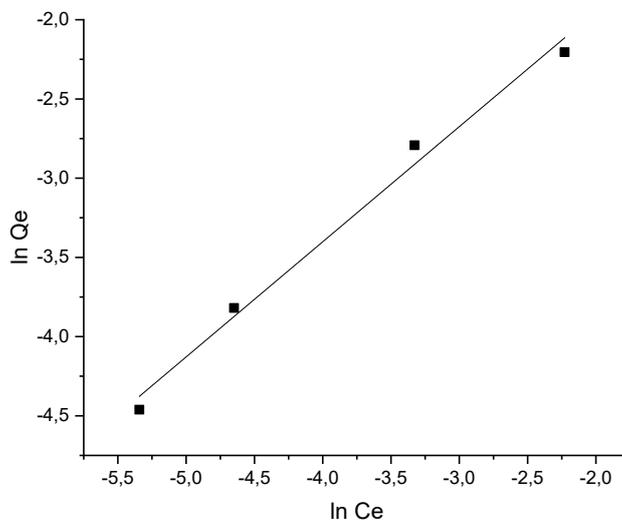
Equação 4
$$\ln Q_e = \frac{1}{K_F} + \frac{1}{n} \ln C_e$$

Figura 6: Linearização da isoterma de adsorção segundo o modelo de Langmuir.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 7: Linearização da isoterma de adsorção segundo o modelo de Freundlich.



Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 2: Parâmetros das Isotermas de Langmuir e Freundlich para adsorção de Pb(II) sobre cabomba verde.

Langmuir			Freundlich		
Q_{max} (mg.g ⁻¹)	K_L (L.mg ⁻¹)	R^2	K_F (L.mg ⁻¹)	n	R^2
0,18	14,16	0,9999	-	1,38	0,9894

Fonte: Autoria própria (2022).

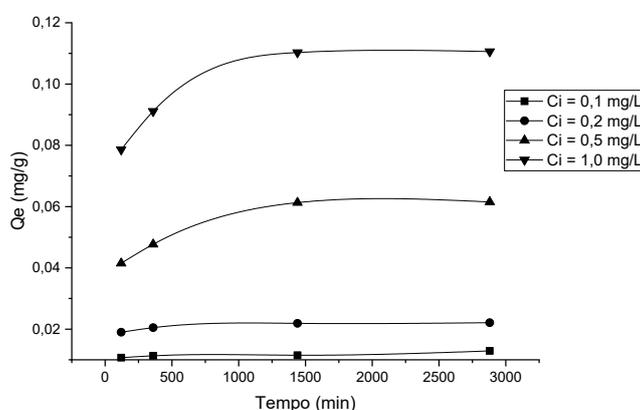
Apesar dos dois modelos apresentarem altos coeficientes de correlação com os dados experimentais, o modelo de Freundlich possui intersecção negativa, impossibilitando a

interpretação do valor (negativo) da constante de Freundlich. Desse modo, podemos concluir que o modelo que melhor descreve a adsorção de íons Pb(II) sobre cabomba verde é o modelo de Langmuir. A constante de Langmuir possui um valor alto, indicando que a adsorção é favorável, com capacidade máxima de 0,18 mg de Pb(II) por grama de adsorvente.

3.7. Estudos cinéticos

A adsorção de chumbo em cabomba verde foi estudada em função do tempo de contato para determinar o modelo cinético que descreve melhor o processo de adsorção. Os resultados de variação de quantidade adsorvida com o tempo e com as concentrações iniciais são mostrados na figura 8.

Figura 8: Variação da quantidade de chumbo adsorvida com o tempo de contato e com as concentrações iniciais. T = 298K, pH = 7,0.



Fonte: A autoria própria (2022).

Os resultados da Figura 8 mostram que a adsorção de chumbo atinge o equilíbrio em cerca de 24 horas para todas as concentrações iniciais. A quantidade adsorvida aumenta com o aumento da concentração inicial. A cinética deste processo de adsorção foi estudada pelos modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem.

A equação 5 mostra o modelo de pseudo-primeira ordem proposto por Lagergren em sua forma linear (HO, 2003).

$$\text{Equação 5} \quad \log(Q_e - Q_t) = \log Q_e - \frac{k_{ad}}{2,303} t$$

Onde: Q_e e Q_t são as quantidades adsorvidas no equilíbrio e no tempo t (mg/g); k_{ad} é a constante de velocidade de adsorção (min⁻¹) e t é o tempo (min).

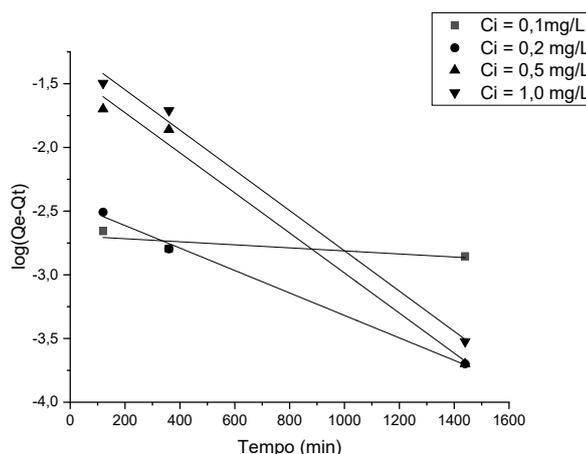
Ho *et al* (2003, 2004), propuseram que o modelo de pseudo-segunda ordem descreve melhor a adsorção de corantes sobre materiais de baixo custo. A equação 6 apresenta a forma linear deste modelo proposta por Ho *et al.* (2004).

Equação 6
$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 \cdot Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} \cdot t$$

Onde Q_e e Q_t são as quantidades adsorvidas (mg.g^{-1}) no equilíbrio e no tempo t (min) e k é a constante de velocidade de pseudo-segunda ordem ($\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$).

A figura 9 mostra o gráfico obtido para modelagem de pseudo-primeira ordem, à temperatura ambiente.

Figura 9: Plot de pseudo-primeira ordem para adsorção de negro de eriocromo sobre casca de maracujá. $C_i = 100 \text{ mg/L}$, $T = 298\text{K}$, $\text{pH} = 6,8$.

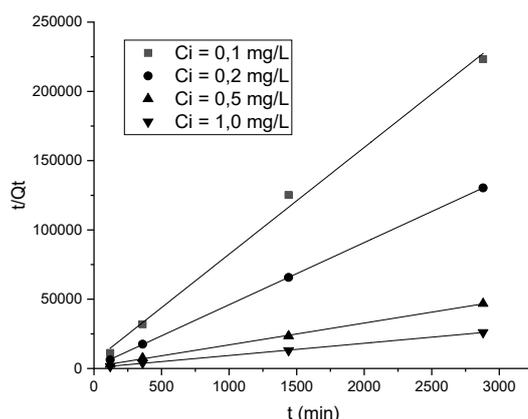


Fonte: Autoria própria (2022).

Os plots lineares de $\log_{10}(Q_e - Q_t)$ versus t apresentaram coeficientes de correlação linear baixos, indicando que este modelo não descreve a cinética de adsorção do chumbo sobre a cabomba verde. Mesmo nas amostras em que o coeficiente de correlação linear se aproximou da unidade o cálculo da quantidade adsorvida no equilíbrio (Q_e) apresentou resultados muito distantes dos obtidos experimentalmente, confirmando que o modelo de pseudo-primeira ordem não é adequado para descrever os resultados obtidos.

A figura 10 mostra o gráfico obtido para modelagem de pseudo segunda ordem para adsorção de chumbo sobre cabomba verde à temperatura ambiente.

Figura 10: Plot de pseudo-segunda ordem para adsorção de chumbo sobre cabomba verde, T = 298K, pH = 6,8.



Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados obtidos para os coeficientes de correlação foram maiores que 0,999 para todas as amostras testadas, indicando que o modelo de pseudo-segunda ordem descreve bem a adsorção de chumbo sobre cabomba verde. O modelo de pseudo-segunda ordem assume que pode existir troca iônica entre o adsorvato e o adsorvente. No entanto, os dados termodinâmicos, mostrados na próxima seção, não indicam que processos químicos estejam ocorrendo neste sistema. Assim, o modelo de pseudo-segunda ordem é uma boa descrição matemática do processo, mas não dá indicação sobre o mecanismo de adsorção que está ocorrendo.

A Tabela 3 mostra os parâmetros obtidos para essa modelagem.

Tabela 3: Parâmetros obtidos para a modelagem cinética da adsorção de chumbo sobre cabomba verde T = 298K, pH = 7,0.

MODELO CINÉTICO	PARÂMETROS	Ci (mg/L)			
		0,1	0,2	0,5	1,0
PSEUDO-PRIMEIRA ORDEM	$k_{ad} \text{ (min}^{-1}) \times 10^3$	0,20	2,1	3,7	3,6
	$Q_e \text{ (mg/g)}$	0,002	0,004	0,072	0,058
	$Q_e \text{ EXP (mg/g)}$	0,0129	0,0221	0,0615	0,1106
	R^2	0,6959	0,9962	0,9902	0,9944
PSEUDO-SEGUNDA ORDEM	$k_2 \text{ (g/mg.min)} \times 10^2$	1,10	1,72	0,19	0,14
	$Q_e \text{ (mg/g)}$	0,0130	0,0223	0,0635	0,1134
	$Q_e \text{ EXP (mg/g)}$	0,0129	0,0221	0,0615	0,1134

Fonte: Autoria própria (2022).

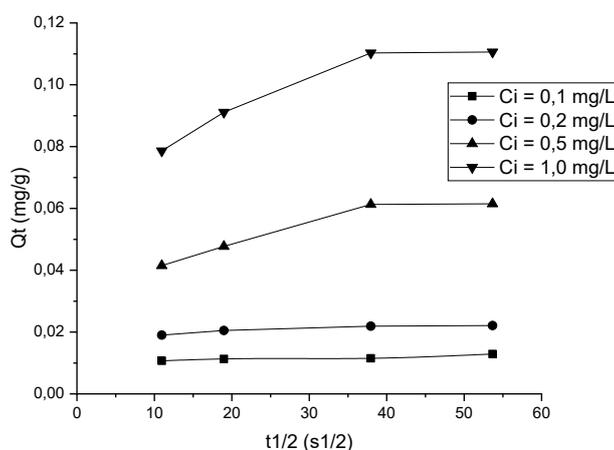
O mecanismo do processo de adsorção nem sempre fica claro a partir dos modelos utilizados neste trabalho. Além disso, a adsorção em fase líquida está sempre sujeita a etapas limitantes da velocidade, como a difusão no filme e a difusão intra-partícula. Para estudar a etapa limitante da velocidade deste processo, utilizou-se o modelo de Weber e Morris, como descrito por Tan (2017). A equação matemática do modelo está representada na equação 7:

Equação 7
$$Q_t = k_i\sqrt{t} + c$$

onde k_i é a constante de velocidade de difusão intrapartícula ($\text{mol.g}^{-1}.\text{min}^{-1/2}$). Um gráfico de Q_t versus $t^{1/2}$ deve ser uma linha reta cuja inclinação dá o valor da constante de difusão. Se $c \neq 0$ a difusão intrapartícula não é o único processo controlando a velocidade.

A Figura 11 mostra os gráficos de Weber-Morris para o processo de adsorção de chumbo sobre cabomba verde, em $\text{pH} = 7,0$ e temperatura ambiente (298K).

Figura 11: Diagramas de Weber-Morris para adsorção de Pb(II) sobre cabomba verde, $T = 298\text{K}$, $\text{pH} = 7,0$.



Fonte: Autoria própria (2022).

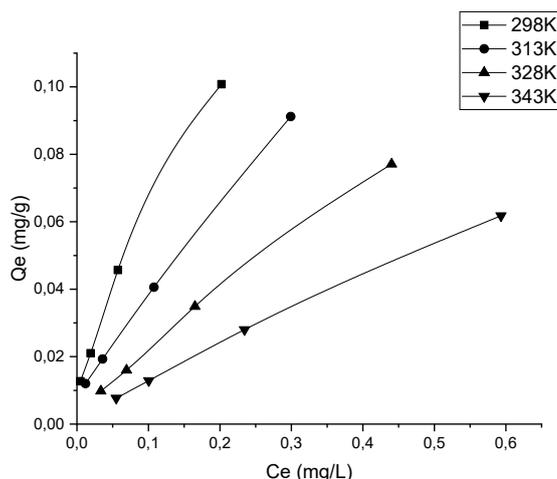
Pode-se observar que os gráficos são lineares, mas não passam pela origem, indicando que a difusão intrapartícula não é o principal fator determinante da velocidade de adsorção. Para concentrações mais baixas observa-se apenas uma etapa de difusão, indicando que apenas a difusão na solução está influenciando a velocidade de adsorção. Para as concentrações mais altas, no entanto, os gráficos mostram duas etapas de difusão, que podem ser atribuídas a difusão na solução e difusão no filme líquido que rodeia a partícula. O conjunto de resultados mostra que a etapa limitante do processo provavelmente foi a difusão na solução.

Os estudos cinéticos, portanto, indicam que a cinética do processo pode ser descrita matematicamente pelo modelo de pseudo-segunda ordem, mas que as limitações difusionais na solução, que podem ser devidas a velocidade de agitação utilizada nos experimentos, estão influenciando no processo.

3.8. Efeito da temperatura e variáveis termodinâmicas

A Figura 12 mostra as isotermas de adsorção de chumbo sobre cabomba verde nas temperaturas estudadas nesse trabalho.

Figura 12: Isotermas de adsorção nas temperaturas utilizadas neste trabalho.



Fonte: Autoria própria (2022).

A quantidade adsorvida decresce com o aumento da temperatura, como esperado para um processo exotérmico. Os valores dos parâmetros termodinâmicos, entalpia, entropia e energia livre de Gibbs, bem como as constantes de equilíbrio foram determinados utilizando-se as equações 8 a 10 e estão resumidos na Tabela 5.

Equação 8
$$\log K_C = -\frac{\Delta H^0}{2,303RT} + \frac{\Delta S^0}{2,303R}$$

Equação 9
$$\Delta G^0 = -RT \ln K_C$$

Equação 10
$$K_C = \frac{C_{ads}}{C_e}$$

Tabela 5: Parâmetros termodinâmicos obtidos para a adsorção de chumbo sobre cabomba verde $C_i = 100$ mg/L

AMOSTRA	T (°K)	K_C	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔS^0 (J/K.mol)	ΔG^0 (kJ/mol)
cabomba	298	26,46	-54,73	-163,75	-8,11
	313	9,98			-6,00
	328	2,93			-2,93
	343	1,40			-0,95

Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados dos estudos termodinâmicos indicam que o processo de adsorção é exotérmico para todas as amostras testadas, suportando os resultados de diminuição de capacidade de adsorção com o aumento da temperatura mostrado na Figura 12. O processo ocorre com diminuição de entropia, o que já era esperado visto que as moléculas estão mais organizadas quando adsorvidas sobre a superfície do que em solução.

Os resultados obtidos para energia livre de Gibbs indicam que a adsorção de chumbo sobre cabomba verde é espontâneo em todas as temperaturas testadas, se tornando cada vez menos espontâneo a medida em que a temperatura aumenta. Esse resultado confirma a suposição de que o processo é principalmente adsorção física.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cabomba verde se mostrou um adsorvente promissor para o cátion Pb(II), com capacidade de adsorção de Langmuir de 0,18 mg de Pb(II) por grama de adsorvente, uma capacidade muito acima dos limites permitidos para a presença de chumbo em água.

A cinética do processo pode ser descrita matematicamente pela equação de pseudo-segunda ordem e os estudos de difusão mostraram que a difusão na solução está influenciando nos resultados, sendo a etapa limitante da velocidade do processo.

A adsorção de chumbo sobre cabomba verde é um processo exotérmico, que ocorre com diminuição de entropia e as energias livres de Gibbs obtidas indicam que o processo é espontâneo em temperaturas próximas a ambiente (298 K). Os resultados termodinâmicos também indicam um processo de adsorção física.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA-FUNO, I. C.; PINHEIRO, C. U.; MONTELES, J. S. Identificação de Tensores Ambientais nos Ecossistemas Aquáticos da Área de Proteção Ambiental (APA) da Baixada Maranhense. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, 5(1), Jan, 2010. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/rbagroecologia/article/view/9794/6639>. Acessado em: Abr. 2023.

AL-DEGS, Y. *et al.* Effect of carbon surface chemistry on the removal of reactive dyes from textile effluente. **Water Research**. 34 (3), 927-935, Fev, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00200-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00200-6). Acessado em: Abr. 2023.

BABEL, S.; KURNIAWAN, T. A. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review, **Journal of Hazardous Materials**. 97 (1-3), 219-243, Fev 2003. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00263-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00263-7). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389402002637>. Acessado em: Abr. 2023.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária** (3 ed.), 1986, São Paulo: CETESB.

BRITO, S. M. *et al.* Brazil nut shells as a new biosorbent to remove methylene blue and indigo carmine from aqueous solutions. **Journal of Hazardous Materials**. 174 (1–3), 84-92, Fev 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.09.020>. Acessado em: Abr. 2023.

CEROVIC, L. S. *et al.* Point of zero charge of different carbides. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, 297 (1–3), 1-6, Abril 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.10.012>. Acessado em: Abr. 2023.

ESPINOZA-QUIÑONES, F. R. *et al.* Study of the bioaccumulation kinetic of lead by living aquatic macrophyte *Salvinia auriculata*. **Chemical Engineering Journal**. 150 (2-3), 316-322, Ago, 2009, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.01.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894709000060?via%3Dihub>. Acessado em: Abr. 2023.

GHALLI, L. *et al.* Effect of pre-treatment of Luffa fibres on the structural Properties. **Materials Letters**. 63 (1), 61-63, jan. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2008.09.008>. Acessado em: Abr. 2023.

HO, Y. S. Removal of copper ions from aqueous solution by tree fern. **Water Research** 37 (10), 2323-2330, Maio 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00002-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00002-2). Acessado em: Abr. 2023.

HO, Y. S. Pseudo-Isotherms Using a Second Order Kinetic Expression Constant. **Adsorption** 10, 151-158, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/B:ADSO.0000039870.28835.09>. Acessado em: Abr. 2023.

JACQUES, R. A. *et al.* Yellow passion-fruit shell as biosorbent to remove Cr(III) and Pb(II) from aqueous solution. **Separation and Purification Technology**. 57 (1), 193-198, Out 2007. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.01.018>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586607000615?via%3Dihub>. Acessado em: Abr. 2023.

JESUS, T. B. de. *et al.* Avaliação da Potencialidade de Utilização de Espécies de Macrófitas como Acumuladoras de Metais Pesados. **Revista Virtual de Química** 7 (4). 1102-1118, Mai, 2015. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20150061>. Disponível em: <https://rvq.sbq.org.br/default.asp?ed=15>. Acessado em: Abr. 2023.

KUMAR, P. S. Adsorption of lead (II) ions from simulated wastewater using natural waste: A kinetic, thermodynamic and equilibrium study. **Environmental Progress & Sustainable Energy** 33, 55, Fev. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ep.11750>. Acessado em: Abr. 2023.

LIMA, L. K. S. *et al.* Removal of Chromium from Wastewater Using Macrophytes *Lemna Minor* as Biosorbent. **Chemical Engineering Transactions**. 25, 303-308, abr 2011. <https://doi.org/10.3303/CET1125051>. Disponível em: <https://www.cetjournal.it/index.php/cet/article/view/CET1125051>. Acessado em: Abr. 2023.

MARTIN, A. R. *et al.* Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade Agave sisalana. **Polímeros**. 19 (1), 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282009000100011>. Acessado em: Abr. 2023.

MÓDENES, A. N. *et al.* Potencial de biossorção do zinco pela macrófita *egeria densa*. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**. 14, 465, dez, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000400006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/63X7Cj43Fz9XPK3pQrcTCKr/?lang=pt>. Acessado em: Abr. 2023.

NOVAIS, R. M. *et al.* A. Novel porous fly-ash containing geopolymer monoliths for lead adsorption from wastewaters. **Journal of Hazardous Materials**. 318, 631-640, Nov 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.07.059>. Acessado em: Abr. 2023.

PARK, S. *et al.* Cellulose crystallinity index: measurement techniques and their impact on interpreting cellulase performance. **Biotechnology for Biofuels and Bioproducts**. 3, 10,2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1754-6834-3-10>. Acessado em: Abr. 2023.

PATHAK, P. D.; MANDAVGANE, S. A.; KULKARNI, B. D. Characterizing fruit and vegetable peels as bioadsorbents. **Current Science**. 110 (11), p. 2114-2123 jun 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.18520/cs/v110/i11/2114-2123>. Acessado em: Abr. 2023.

RAI, P. K. Seasonal monitoring of heavy metals and physicochemical characteristics in a lentic ecosystem of subtropical industrial region, India. **Environmental Monitoring and Assessment**. Jun. 2010, 165, 407-433. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0956-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-009-0956-z>. Acessado em: Abr. 2023.

SABA, B.; CHRISTY, A. D.; JABEEN, M. Kinetic and Enzymatic Decolorization of Industrial Dyes Utilizing Plant-Based Biosorbents: A Review. **Environmental Engineering Science**. 33(9), 601-614, Set, 2016. <https://doi.org/10.1089/ees.2016.0038>. Disponível em: <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/ees.2016.0038>. Acessado em: Abr. 2023.

SHABANI, N.; SAYADI, M. H. Evaluation of heavy metals accumulation by two emergent macrophytes from the polluted soil: an experimental study. **The Environmentalist**.32, 91-98, Mar, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10669-011-9376-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10669-011-9376-z>. Acessado em: Abr. 2023.

SILVA, E. da.; SANTOS, P. S. dos.; GUILHERME, M. F. S. Lead in plants: a brief review of its effects, mechanisms toxicological and remediation. **AGRARIAN ACADEMY**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.2, n.03; p. 1, 2015. http://dx.doi.org/10.18677/Agrarian_Academy_001. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2015a.htm>. Acessado em: Abr. 2023.

SILVA, J. E. da. *et al.* Estudo de Cinética e Equilíbrio de Adsorção Empregando a Casca do Coco Modificada Quimicamente para a Remoção de Pb(II) de Banho Sintético. **Revista Virtual de Química**. 10 (5), 1248-1262, Nov,2018. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180086>. Disponível em: <https://rvq.s bq.org.br/default.asp?ed=63>. Acessado em: Abr. 2023.

SILVA, P. R. da; GONÇALVES, G. R.; FREITAS, J. C. Preparação, Caracterização e Avaliação na Gaseificação de Celuligninas de Bagaço de Cana e Casca de Arroz: Caso de Reaproveitamento de Resíduos Lignocelulósicos **Revista Virtual de Química**. 8 (5), 1262-1276, ago 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20160091>. Acessado em: Abr. 2023.

TAN, K. L.; HAMEED, B. H. Insight into the adsorption kinetics models for the removal of contaminants from aqueous solutions. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**. 74, 25-48, May 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.01.024>. Acessado em: Abr. 2023.

TORRES, I. F. A. *et al.* Elementos traço e agrotóxicos em amostras de água, sedimento e mata ciliar coletadas no entorno do ribeirão da mata (mg). **Revista de Estudos Ambientais**, [S.l.],

v. 15, n. 1, p. 6-19, ago. 2014. ISSN 1983-1501. Disponível em: <<https://proxy.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/3922>>. Acessado em: Abr. 2023.

TRINDADE, W. M.; HORN, A. H.; RIBEIRO, E. V. Concentrações de metais pesados em sedimentos do rio são francisco entre três marias e pirapora-mg: geoquímica e classificação de risco ambiental. **Geonomos**, 20(1), Jul 2012, <https://doi.org/10.18285/geonomos.v20i1.28>. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11729>. Acessado em: Abr. 2023.

TRIPATHI, A.; RANJAN, R. J. Heavy Metal Removal from Wastewater Using Low Cost Adsorbents. **Journal of Bioremediation & Biodegradation**. 6, 315, Out, 2015. doi:10.4172/2155-6199.1000315. Disponível em: <https://www.omicsonline.org/open-access/heavy-metal-removal-from-wastewater-using-low-cost-adsorbents-2155-6199-1000315.php?aid=62852>. Acessado em: Abr. 2023.

TSERKI, V. *et al.* A study of the effect of acetylation and propionylation surface treatments on natural fibres. **Composites: Part A** 36 (8), 1110-1118, Ago, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2005.01.004>. Acessado em: Abr. 2023.

WU, J. *et al.* Water and Sediment Quality in Lakes along the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, China. **Water Resources Management**. 26, 3601–3618, Jun,2012. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0093-2>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-012-0093-2>. Acessado em: Abr. 2023.

YANG, G. H. *et al.* Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**. 86 (12–13), 1781-1788, Ago 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.013>. Acessado em: Abr. 2023.

CAPÍTULO 10

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E ETAPAS DO PROCESSO DE APRENDIZAGEM

Marcelo Calixto Soares da Silva
Alex Macedo de Araujo

RESUMO

Esse texto apresenta discussão no desenvolvimento de aprendizado de máquina a nível introdutório utilizado na localização de padrões, com estrutura de treinamento baseado nas práticas de mercado de cientistas de dados e estatísticos. O objetivo é mostrar que o aprendizado de máquina, uma subárea da inteligência artificial pode ser simples na prática, onde conceitos matemáticos complexos podem ser simples. São abordados algoritmos e a sequência de passos em um aprendizado, avaliar e reavaliar o processo até que um valor ideal seja atingido, assim como as etapas do algoritmo.

PALAVRAS-CHAVE: Aprendizado de máquina. Classificação; Regressão. Clusterização. Redes Neurais.

1. INTRODUÇÃO

Muito tem se falado sobre a inteligência artificial com o lançamento de tecnologias como Chat GPT e outras ferramentas que têm a capacidade de interagir e entender o ser humano naquilo que precisa de ajuda ou dúvidas, mas o aprendizado de máquina pode ser muito menos robusto do que o marketing de Big techs vendem, mas a forma como a máquina aprende é uma mistura de processos humanos misturados com álgebra e geometria.

Durante muitos anos o que se entendeu como o aprendizado de máquinas se devia a mídia, e ideias de que computadores começariam a se tornar seres autônomos que se pareceriam com humanos, mas a realidade que se tem atualmente são de algoritmos de predição e aprendizado no simples auxílio, o principal uso está em prever o futuro, prever vendas, prever o que o usuário está a procurar, está em auxiliar o ser humano em suas tarefas e trabalhar junto ao homem na otimização de tempo e recursos, nada daquilo de robôs com sentimentos e que buscam se parecer ou serem humanos.

Dado o modo que a ideia do aprendizado de máquina está longe do esperado pela cultura pop, se faz explicar que quase tudo que se refere ao modo que as máquinas aprendem é de conhecimento a muito tempo, algoritmos e fórmulas utilizadas no aprendizado tem origem no teorema de Thomas Bayes, que propôs uma metodologia de dado um acontecimento, prever as chances de acontecer outra situação, como por exemplo, dado que uma pessoa fuma a 50 anos, qual a probabilidade dela ter algum problema de saúde decorrente dessa situação, se utiliza então os algoritmos de probabilidade para descrever as situações futuras.

Um termo que acabou se popularizando academicamente e em áreas é de máquinas preditivas, pois a partir de dados e situações passadas podem aprender a prever situações, geralmente em pequenas escalas, as máquinas preditivas também têm a características de serem máquinas especialistas, focadas em uma tarefa, com baixa capacidade de diversificar dados.

2. FINALIDADE DO APRENDIZADO DE MÁQUINA

Dado que se entende que o aprendizado de máquina é usado como técnicas de fazer previsões e otimização dos recursos, fica-se se dúvidas, de quando os utilizar, muitos gestores se perguntam qual a necessidade e qual a efetividade terão em adotar essas técnicas para melhorar a performance do negócio, alguns conhecimentos humanos por vezes não necessitam de máquinas treinadas para serem efetivos, um carrinho de cachorro quente em frente a um estádio em dia de jogo terá uma boa venda, pois é uma situação que deverá gerar demanda e que o conhecimento humano pode prever. Como afirma A. Ajay em Máquinas Preditivas (2019, p. 13): A predição é o processo de preenchimento de informações ausentes. Ela usa informações disponíveis, geralmente chamadas de “dados”, e as usa para gerar informações que você não tem. Ou seja, o aprendizado trabalha com as incertezas, e tenta reduzir elas através de cálculos, como uma regressão logística abordada mais à frente, que dado as características de um registro, qual a probabilidade de ele pertencer a determinada classe. Com isso se consegue definir as melhores chances de classificar um usuário por exemplo ao que esperar de suas escolhas e necessidades.

2.2 MOTIVAÇÃO DO USO

Dado as características do que é o aprendizado de máquina, é preciso saber quando o usar, como mencionado anteriormente, para ele ser utilizado, é necessário uma complexidade para que faça sentido. Como afirma A. Géron em Mãos a Obras: Aprendizado de Máquina com Scikit-Learn & TensorFlow (2017, p. 7). Problemas para os quais as soluções existentes exigem muita configuração manual ou longas listas de regras, Problemas Complexos para os quais não existe uma boa solução quando utilizado abordagem tradicional. Compreensão de problemas complexos e grandes quantidades de dados. Logo o uso das técnicas vai ser para encontrar padrões bem estabelecidos, sejam lineares ou não lineares, os padrões lineares têm complexidade mais baixa e podem ser demonstrados através de uma separação dimensional onde é possível a segregação por classe ou valores.

2.3 PORQUE PYTHON

Atualmente a grande massa de pessoas que trabalha com a pesquisa de aprendizado de máquina decidiu usar a linguagem de programação Python, atualmente se destacam algumas linguagens como R, Scala, e Julia, as 3 são especialistas na área de dados, Julia ainda está mais em criação e tem grandes chances de ser utilizada no futuro pelo alto desempenho, mas R e Scala estão consolidadas e são utilizadas principalmente academicamente.

Já Python se tornou queridinha pelo seu uso simples, o código é fácil de se entender e rápido de escrever, como existem bibliotecas em demasiado para a linguagem e uma comunidade muito ativa ela acabou se tornando muito popular dentro da comunidade de aprendizado de máquina, Scikit-Learn se tornou a biblioteca mais comum dentro do uso de aprendizado e a mais abrangente em número de algoritmos e tem uma grande biblioteca de exemplos, assim como se tornou base para novas bibliotecas que a utilizam como base para bibliotecas mais visuais.

Um dos pontos baixos do Python para o uso em grande escala é a velocidade de processamento mais baixa que outras linguagens, devido a isso, muitas bibliotecas são feitas em C e integradas ao Python, para unir duas coisas importantes, muita velocidade de C e código simples do Python, então se tem o melhor de dois mundos. Uma ferramenta importante dos testes é o uso de notebooks, pequenos blocos e terminais em web que servem para a testagem e códigos de uso para pesquisa científica, ele permite a livre execução de blocos de códigos sem a necessidade de executar todo código.

O aprendizado de máquina não tem apenas um resultado como saída, existem diversas vertentes e motivações para o uso, como prever valores, classificar situações e agrupar conjuntos semelhantes para entender suas semelhanças, decidir quais produtos podem ser indicados e diversas outras situações que seguem padrões de comportamento, a seguir serão detalhados tipos de aprendizados e suas características. O aprendizado de máquina leva em conta de que para aprender se possa corrigir aquilo que está incorreto, como se faz no aprendizado humano, no aprendizado supervisionado, para que se atinja a melhor performance se age de forma similar ao ser humano, se o algoritmo entende algo como “bola”, mas o objeto é um outro objeto, o rótulo propaga a correção a cada iteração do algoritmo que vai aos poucos reduzindo esse erro na identificação de padrões. No meio não supervisionado é deixado que a máquina encontre padrões que o ser humano não consegue localizar de maneira simples.

3. CLASSIFICAÇÃO

A classificação consiste em através de modelos previamente treinados utilizar os dados anteriores a fim de tentar agrupar os similares por rótulos fornecidos pelo usuário em um algoritmo de aprendizado supervisionado, para a classificação o algoritmo passa pelas variáveis dos registros anteriores e seus rótulos para descobrir em que classe o novo registro tem mais probabilidade de se enquadrar.

4. REGRESSÃO

A regressão tem como objetivo prever valores através de dados anteriores, mas ela tem como principal análise de previsão dados não temporais, embora possa ser utilizado em determinados casos, demanda que os registros sejam individuais, que não tenha dependência de um registro a outro, a regressão mais comum, a linear, tenta de maneira geométrica definir uma reta que possa passar pelos dados e tentar fazer as previsões com a menor quantidade de erro possível, existem diversos algoritmos que se utilizam a regressão, todos tem por fim a encontrar o melhor valor com a menor taxa de erro, nascida das pesquisas de Francis Galton que definiu a correlação, as técnicas são muito utilizadas nas áreas estatísticas. Com o tempo mais possibilidades na regressão foram descobertas, como polinomiais que se utilizam de linhas não retas para a classificação de valores, ou mesmo árvores de decisão que são mais comumente utilizadas em classificação também foram adaptadas para análise de regressão, análise de regressão.

5. CLUSTERIZAÇÃO

A Clusterização é um método de aprendizado não supervisionado, onde o desenvolvedor ou pesquisador apenas fornece os dados previamente tratados e com o uso de algoritmos tenta-se relacionar e aproximar de maneira dimensional os registros mais próximos, existem otimizadores que tentam aproximar quais são as melhores quantidade de agrupamentos e isso ainda depende da avaliação do desenvolvedor. Existem menos algoritmos de clusterização que os demais métodos, o desenvolvedor avalia quais possibilidades e os dados que passará ao algoritmo, mas nessa forma quem vai definir o rótulo de saída é o computador, a clusterização também consegue responder de maneira mais efetiva e rápida quais variáveis podem responder perguntas, quando se usa dendrogramas na avaliação dessas saídas, consegue-se perceber qual variável influencia mais ou menos o agrupamento, se há muita ou não importância para aquele grupo a variável.

6. APRENDIZADO POR REFORÇO

O aprendizado por reforço é o mais específico, ele é realizado em um ambiente controlado, ele depende do ambiente para que possa ser ensinado, o uso mais popular tem sido para jogos que a máquina passa a aprender com o modo de agir do usuário, e carros autônomos, utilizando de treinamentos, a recompensa é dada ao chegar no ponto de destino, ou seja, nesse ambiente pré-determinado e controlado, o algoritmo se adapta as restrições, e tenta calcular a melhor forma de atingir um objetivo, podendo ou não trabalhar com erros e penalizações para que determinadas ações sejam limitadas ou restringidas. Como afirma A. Géron em *Mãos a Obras: Aprendizado de Máquina com Scikit-Learn & TensorFlow* (2017, p. 458). No Aprendizado por reforço, um agente de software faz observações e realiza ações dentro de um ambiente e, em troca, recebe recompensas. Seu objetivo é aprender a agir de forma a maximizar suas recompensas esperadas de longo prazo.

Series Temporais Séries Temporais são dados que ao contrário dos anteriores tem uma relação um com o outro em forma de uma linha do tempo, entendendo essa forma linear, os dados demonstram determinados períodos de tempo onde se pode prever ações, demandas, questões de clima e doenças, é um ambiente ainda recente, que demanda estudos a longo prazo para a maior coleta de dados, quando mais longo for a pesquisa a respeito do assunto, melhor a qualidade preditiva, como afirma A. Nielsen *Análise Prática de Séries Temporais* (2016, p.13). A análise e previsão de séries temporais ainda não chegaram à sua Idade de Ouro e, por ora, a análise de séries temporais segue dominada pelos métodos estatísticos tradicionais, bem como pelas técnicas mais simples de aprendizado de máquina, como conjuntos de árvores e ajustes lineares. Ainda se espera um grande salto à frente para predizer o futuro. Ou seja, as análises embora utilizadas a décadas ainda não é tão bem estabelecida como outros tipos de aprendizados.

7. MODELOS ENSEMBLE

Modelos Ensemble são modelos relativamente novos em aplicações e sempre recebendo atualizações como foi com Xgboost lançado em 2014 e altamente utilizado em competições de aprendizado de máquina, esse tipo de modelo utiliza uma média de vários minimodelos treinados para tentar chegar a uma solução melhor que a maioria dos algoritmos clássicos, mas os utilizando de fundo para isso, possuem seus próprios métodos para chegar a um resultado ótimo. Como afirma A. Géron em *Mãos a Obras: Aprendizado de Máquina com Scikit-Learn & TensorFlow* p458. Suponha-se que se faça uma pergunta complexa a milhares de pessoas

aleatórias e, então, reúna suas respostas. Em muitos casos, verá que esta resposta agregada é melhor do que a resposta de um especialista, o que é chamado de sabedoria das multidões.

Como pode-se ver, o método tenta replicar mais segurança nas respostas, pois na hora de separar os dados de testes, eles podem ser uma fatia ruim de determinada base de dados, e, tentar utilizar a lógica humana de um coletivo de respostas pode ter efeitos de melhora.

8. REDES NEURAIAS

Redes Neurais Redes neurais ou Deep learning como é conhecido em alguns meios, é uma subárea do aprendizado de máquina, muitas vezes mais complexo, pois tem uma estrutura variável que pode ser ajustada a várias possibilidades, a rede neural em si é um tipo de estrutura de grafo direcionado, onde existem camadas de entradas e saídas de informações, entre essas camadas existem outras, as camadas ocultas, nelas é onde é feito o cálculo e aplicadas as fórmulas do aprendizado. As redes neurais nada mais são do que uma simulação do cérebro humano, é comum entre pessoas leigas acharem que um computador é uma grande máquina de processamento, mas a realidade é que um ser humano é uma máquina com capacidade de processamento de informações enorme, máquinas são excepcionais em calcular matemática e algoritmos que levem em consideração lógica, achar padrões e resolver problemas, mas cérebros humanos são muito superiores em criatividade, em inovar e entender problemas nas áreas humanas, logo a rede neural tem se focado justamente em localizar padrões não lineares e complexos que algoritmos mais simples não conseguem localizar de forma tão eficiente. O Back propagation, algoritmo desenvolvido na década de 80 foi o principal responsável pelo aumento do uso das redes neurais, com ele, a correção das camadas se tornou algo mais simples, onde se passou a conseguir mais bem resultados nas predições, com ele os valores de erro podem ser corrigidos e reanalisados em uma um looping de iterações até que se tenha a melhor resposta possível. Outro fator muito importante para as redes neurais justamente em grande escala, é o fator de processamento paralelizado, a Nvidia, grande marca de placas gráficas tem tornado a inteligência artificial como o carro-chefe de serviços, o processamento paralelizado permite um processamento muito mais eficiente para as redes neurais, quanto maior for a complexidade melhor o processamento em placas gráficas é em relação ao uso de processadores. Existem diversas arquiteturas diferentes e serão citadas as mais utilizadas e comuns.

8.1 Redes neurais multilayer perceptron

São as mais comuns e descritas acima, elas geralmente são usadas para resolver pequenos problemas e mais comuns no meio de pesquisa e aprendizado, utilizadas para regressão e classificação. Servem para resolver os principais problemas humanos e comerciais, elas se adequam as necessidades na previsão, alguns algoritmos tradicionais utilizam técnicas de redes neurais para definir classificações como o algoritmo SVM.

8.2 Redes neurais convolucionais

As Redes Neurais Convolucionais são redes neurais artificiais profundas que podem ser usadas para classificar imagens, agrupá-las por similaridade (busca de fotos) e realizar reconhecimento de objetos dentro de cenas. São algoritmos que podem identificar rostos, indivíduos, sinais de rua, e demais objetos.

As redes recorrentes são um poderoso conjunto de algoritmos de redes neurais artificiais especialmente úteis para o processamento de dados sequenciais, como som, dados de séries temporais ou linguagem natural. Elas tentam prever qual será a próxima palavra, ou mesmo qual a próxima venda.

Redes Neurais Generativas São redes capazes de construir e criar coisas a partir de modelos anteriores, e trabalham com duas redes adversárias que tentam melhorar competindo uma com a outra, são responsáveis por aumentar o dimensionamento de imagens para jogos, assim como de manutenção em fotos e vídeos gerando pixels faltantes, ou mesmo fazer a simulação de rostos e demais montagens.

Modelos semi supervisionados de aprendizado utilizam registros rotulados e não rotulados para a aprendizagem, um pouco mais complexos mas amplamente estudados academicamente atualmente por conseguirem aproveitar diversos recursos de registros mas que não possuem um rótulo, ele utiliza rótulos de alguns registros e analisa através deles quais as possibilidades mais próximas dos registros não rotulados serem, geralmente usam grafos ou cálculo dos vizinhos mais próximos para chegarem a esse resultado, sendo assim conseguem com poucos dados chegar a um sistema de previsão razoável e aplicável.

8.3 Redes neurais recorrentes

As redes recorrentes são um poderoso conjunto de algoritmos de redes neurais artificiais especialmente úteis para o processamento de dados sequenciais, como som, dados de séries

temporais ou linguagem natural. Elas tentam prever qual será a próxima palavra, ou mesmo qual a próxima venda.

8.4 Redes neurais generativas

São redes capazes de construir e criar coisas a partir de modelos anteriores, e trabalham com duas redes adversárias que tentam melhorar competindo uma com a outra, são responsáveis por aumentar o dimensionamento de imagens para jogos, assim como de manutenção em fotos e vídeos gerando pixels faltantes, ou mesmo fazer a simulação de rostos e demais montagens.

8.5 Modelo semi supervisionado

Modelos semi supervisionados de aprendizado utilizam registros rotulados e não rotulados para a aprendizagem, um pouco mais complexos mas amplamente estudados academicamente atualmente por conseguirem aproveitar diversos recursos de registros mas que não possuem um rótulo, ele utiliza rótulos de alguns registros e analisa através deles quais as possibilidades mais próximas dos registros não rotulados serem, geralmente usam grafos ou cálculo dos vizinhos mais próximos para chegarem a esse resultado, sendo assim conseguem com poucos dados chegar a um sistema de previsão razoável e aplicável.

9. SISTEMAS DE RECOMENDAÇÃO

Sistemas de recomendação são um dos mais importantes para o mercado corporativo, pois ele ajuda diretamente a impulsionar vendas e direcionamento a conteúdos, o varejo online o utiliza a muito tempo, pois consegue resolver a analisar vendas que um ser humano talvez não pudesse resolver, um exemplo muito grande do mercado se refere a venda das fraldas versus cerveja, se calculou que muitos pais acabavam indo comprar fraldas em mercado e levavam cerveja pela conveniência de já estarem no mercado, logo alguns mercados passaram a colocar os itens perto uns dos outros, ao contrário por exemplo de itens que estão diretamente ligados, como um sabão em pó e um amaciante, que servem ao mesmo propósito, o algoritmo de recomendação consegue localizar relações entre produtos que não são relacionados diretamente, ele pode requerer um processamento computacional alto, e ajustes manuais, é um sistema complexo de implementação, mas ajuda o marketing a reduzir custos, pois indicar exatamente o que o cliente precisa é algo que reduz a propaganda paga em larga escala e otimiza agrupamentos de interesses, na ciência social se chama isso de rede social, através de interesses em comuns, redes como o facebook acerta e muito no direcionamento de gostos do usuário, mas tem criado bolhas ideológicas e de conteúdos onde a diversidade de ideias acaba sendo

reduzida, existem diversos debates de como os sistemas de recomendação podem ser positivos ou negativos no âmbito da interação humana.

10. ALGORITMOS GENÉTICOS

Algoritmos genéticos são utilizados dentro do aprendizado de máquina para tentar fazer otimizações de algoritmos e sistemas evolutivos que tentam melhorar previsões através da mudança e escolha de melhores adaptações, se utiliza simulações e escolha daqueles que se adaptam melhor ao problema que tenta resolver, tentando assim otimizar o processo.

11. COLETA DE DADOS E TREINAMENTO

Principal tarefa quando se inicia um treinamento ou qualquer pesquisa, é a de conseguir os dados, os dados por diversas vezes podem vir de locais diferentes, desde arquivos de texto, bancos de dados ou data lakes, a quantidade e a qualidade dos dados conseguidos geralmente dizem muito sobre o resultado final de qualquer análise dos dados realizada, dados podem estar desatualizados facilmente, exemplo de censo do IBGE que com mais de 12 anos de diferença entre um e outro ocasiona um déficit de projeções e correções de bases sociais.

A coleta de dados pode também se categorizar pelo momento em que as metas, expectativas e qual é o motivo e aonde se quer chegar no projeto também é definido, geralmente se trabalha com um variável, conhecido como target para parte do mercado, o target é geralmente uma nomenclatura de “y”, a saída esperada de uma função, as variáveis que dirão qual a saída.

11.2 Preparação dos dados

A preparação dos dados é a parte que em geral leva a maior parte do tempo de qualquer manipulação na criação de um modelo de aprendizado, alguns cientistas de dados ou estatísticos podem confirmar que até 90% do tempo é somente nessa parte, são etapas primordiais para se criar modelos bem-sucedidos, onde a entrada será realmente condizente com o uso de modelos.

11.3 Padronização, variáveis binárias e variáveis categóricas

Para o bom entendimento do algoritmo, as variáveis devem estar em escalas parecidas, pois os algoritmos podem entender que valores discrepantes têm importâncias diferentes, e não é a verdade em alguns casos, existem vários tipos de algoritmos que criam escalas que podem ser utilizadas para que o dado tenha um tipo de escala similar, e é importante que seja feito em todas colunas com valores contínuos, onde um valor 3 realmente maior que o valor 1, e não um tipo de classe, o método da normalização de dados somente pode ser aplicada quando essa

relevância é realmente ligada a continuidade de uma escala. Variáveis categóricas podem ser representadas de maneiras diferentes, as que usam algum tipo de escala, como alto médio e baixo, elas levam em consideração que as classes são desiguais ou hierárquicas, em alguns casos ou algoritmos somente são aceitos valores numéricos, nessa situação pode se usar escala de acordo com a hierarquia dos dados substituindo os valores por escalas inteiras. Em caso de variáveis categóricas onde não há hierarquia, é um pouco mais detalhado, pois o tratamento utilizado pode variar de acordo com a dispersão, as seleções utilizam a percepção do analista ou programador.

11.4 Ausentes

Existe um caso muito específico de situação que acontece com dados quando se trabalha com estruturas diversas e fontes, por vezes os dados podem simplesmente não existir, se o dado inexistir, o que fazer? Não há um consenso sobre isso, cada situação pode ser tratada de maneira diferente, a variável que falta, é uma informação imprescindível? Se for pode se tratar com inclusões de medidas de distribuição, é algo comum que se insira dados de mediana para se preencher alguns dados, outros dados as vezes podem ser excluídos, ou mesmo repensar a coleta, dependendo do algoritmo, e do modo que se quer trabalhar, por vezes a ausência não é um problema, um registro também pode ser parte primordial de uma abordagem, bibliotecas atuais em linguagens como python, não são favoráveis a trabalhar com valores ausentes, situações que cientistas de dados e estatísticos por vezes diferenciam em seus pensamentos no modo de trabalhar, como a abordagem aqui está enviesada ao modo de cientistas de dados por se tratar de predição com uso computacional, é mais interessante em preencher esses dados através de métodos de inputs, mas quem vai fazer a decisão da melhor forma é o analista, por vezes diversas formas podem acabar sendo satisfatórias para se adequar aos dados ausentes.

11.5 Seleção de variáveis

Uma parte muito importante de um bom treinamento é ter as melhores características para fazer a predição, como comentado anteriormente, isso possibilita um menor uso computacional, mas como saber quais variáveis são importantes? Existem alguns métodos considerados dentro de algoritmos de melhores variáveis, são eles:

Filtrar, um conjunto de variáveis é submetido a um teste estatístico que maximiza um critério pré-definido e entrega como saída, um número menor de variáveis. Não há uma resposta do modelo de aprendizado para o processo de filtragem. O modelo recebe as variáveis escolhidas e tem que trabalhar com elas.

Embrulhar, um conjunto de variáveis é submetido a um "embrulho" onde as variáveis são filtradas e em seguida submetidas a um modelo de aprendizado de máquina. A resposta do modelo é utilizada para novamente filtrar as variáveis até que se chegue às variáveis mais relevantes. A resposta do modelo de aprendizado de máquina é utilizada como forma de melhorar a escolha das variáveis.

Embutir se diferencia dos demais métodos na forma como a seleção de variáveis e o processo de aprendizagem ocorre. Métodos de embutir não separam o aprendizado da seleção das variáveis como é feito nos métodos de embrulhar

Dentro da maioria dos algoritmos se tem modelos prontos de seleção de atributos, que mostra o número de vezes que uma variável foi utilizada, quanto mais vezes mais o modelo entende como importância na prática da predição.

A colinearidade grosso modo, se trata de duas estruturas de dados serem tão parecidas, que uma acompanha a outra a modo que uma aumenta, a outra aumenta de maneira similar, com uma proporção que pode ser igual ou até determinada faixa que pode variar de acordo com quem a observa, por vezes a faixa de entendimento pode depender do analista, mas uma coisa fica clara, com um alto custo de processamento, porque utilizar dados que dizem a mesma coisa? Não parece fazer muito sentido pensando no custo, nesse caso, quando se tem variáveis que possuem esse tipo de característica, opta-se por excluir alguma a grosso modo, pois ambas já estão ali dizendo a mesma coisa, ou, técnicas mais avançadas como o PCA, que é análise de componentes principais, algoritmo muito famoso por excluir esse custo computacional, ele relaciona as colunas que tem essa ligação de colinearidade e as transforma em uma com uma média ponderada desses itens, sendo assim a informação que poderia ser consumida repetidamente, se torna uma mais concisa e estruturada.

11.6 Escolha do modelo

O primeiro passo na escolha do modelo, é entender qual saída, qual a finalidade do que se quer como saída, a saída no geral é de um valor que se tem a resposta entre agrupamento, classificação ou regressão.

Na Classificação, se entende como um registro é algo, pode ser algum objeto, pode ser sim ou não, pode ser a probabilidade entre várias formas, mas basicamente se trata com a saída de probabilidade do estado do registro, exemplos práticos, dados características de uma determinada pessoa, levando em conta, renda, sexo, idade, qual a probabilidade de ela comprar o produto de tal loja? Terá uma saída entre 0 e 1, dependendo do corte utilizado da intenção de

efetividade, ele será classificado como propenso cliente, ou não. Pensando na forma da escolha do modelo, a separação entre duas tabelas, a tabela que representa x e uma que representa y , x é as características e y a classe de clientes já determinados, é primordial que para a classificação a saída dos registros de treinamento já estejam claras, como o algoritmo de classificação está sendo supervisionado, o analista vai indicar a máquina a que classe aquele registro é, e através de cálculo de erro o modelo se ajusta a tentar errar o mínimo possível.

Na regressão a estrutura da tabela é similar, a diferença é que o retorno é sempre único, o valor esperado de saída de acordo com as entradas, não existem classes e não há multivariação de possibilidades, apenas um valor previsto, e uma margem para mais ou menos de acordo com a média dos erros

O Agrupamento já tenta solucionar outro problema, a coluna de saída que o analista quer, ainda não existe, ou seja, será passado apenas para o algoritmo o x , o y será retornado por ele, ele usará a distância euclidiana para tentar achar a similaridade não observável através de visualização simples e indicar onde estão os agrupamentos, mas dessa forma, o treinamento também pode ser mais complexo, pelo fato que geralmente os agrupamentos podem ser em vários tamanhos diferentes, o agrupamento pode ser 2 grupos, pode ter 3, 4, ou infinitas quantidades, no treinamento o usuário faz a definição e a máquina vai se adequar as características pedidas pelo analista.

11.7 Avaliação

Durante o processo de treinamento é bem comum que o processo seja feito repetidas vezes, pois nem sempre as expectativas de saída são realmente atingidas, por vezes é preciso modificar, voltar ao início e novamente treinar o modelo, é repassado e alterado parâmetros a fim de melhorar

Dentro da regressão quando se avalia o erro, geralmente o erro é definido pelo erro quadrado médio, onde o erro de cada classificação é elevado ao quadrado e revertido novamente usando a raiz quadrada e feito a média de todos registros, o motivo de ser realizado esse tipo de tarefa, é que de que erros podem ser negativos e positivos, quando se eleva um valor e depois reverte, é feita com que todos fiquem positivos, pois com médias negativas os erros não poderiam ser somados, tendo os valores médios são somados e divididos pelo total de registros, nisso se tem uma ideia da faixa real da predição da regressão, esse não é o único método de avaliação, mas o comum de ser utilizado desde estatística quando aprendizado de máquina.

A avaliação na classificação é um pouco mais abrangente, existem mais possibilidades ao invés do erro médio das classes, se uma matriz de confusão, a matriz mostra qual foi a classificação errada feita nas classes erradas e corretas, com uma matriz de relações, dessa forma é possível ter ideia se existe algum viés dentro da classificação, ou se alguma está tão próxima a outra que a classificação fica mais complicada, é um método de avaliação bem eficiente a humanos, assim como a acurácia, uma forma simplificada de se entender qual os resultados das saídas da classificação.

Ainda na classificação uma das métricas mais utilizadas é a curva ROC, que capta o treinamento de maneira eficiente, mostrando a relação entre falsos positivos e positivos ao longo de cada iteração do treinamento, essa medida é eficiente para descrever a efetividade do treinamento, quanto mais rápido é a subida da curva melhor está sendo o treinamento, quando mais perto do centro, menos o aprendizado está se adequando a necessidade.

11.7 Generalização

Quando pessoas que estão iniciando no entendimento do aprendizado de máquina, é comum que se fique focando em tentar chegar ao valor de 100% em acerto, afinal de contas, 100% parece algo que imponente e que trará a perfeição, mas a perfeição no caso do aprendizado não existe, no caso de um treinamento que chegue a 100%, a realidade é que o modelo de treinamento se ajustou tanto aos dados, que ele sempre vai acertar quando ver aqueles dados, mas na hora da recepção a novos dados, será impactado pois será considerado ineficiente.

A generalização é o quão abrangente um modelo pode ser, quando ele recebe registros novos, qual a capacidade dele prever com exatidão ou próximo a isso novos registros, por vezes é necessário reavaliar as previsões e ver se modelos continuam funcionando bem, mas um algoritmo capaz de ser genérico a ponto de captar ainda oscilações nos dados, terá uma longevidade maior, um grande exemplo é uma vacina com eficácia de 50%, pode parecer ruim, mas a vacina da gripe costuma ter esse valor, mas ela consegue se adequar melhor a mudanças no vírus que uma vacina com eficácia de 95%, pois ela será tão especialista em trabalhar com uma versão do vírus, que será inútil em pouco tempo em caso de uma nova variação, e algoritmos de aprendizagem funcionam da mesma forma, a taxa de erro e grau de generalização trabalham juntas para serem abrangentes e eficientes.

12. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como abordado nesse texto, é possível verificar que a aplicação dos métodos mais simples de aprendizado de máquina tem uma curva de aprendizado relativamente pequeno. Alguns casos muito simples, esse método não precisa ser aplicado, por vezes dentro do banco de dados, pode-se ter uma variável que é calculada a posteriori com a mudança da linha que determina a regressão, fazendo com que não haja necessidade de novo treinamento, utilizado, por exemplo, em bancos e instituições financeiras para designar um tipo de score para um cliente, ou um limite pré aprovado, quando se precisa localizar os padrões ou escolher entre modelos mais sofisticados, a sequência de passos do aprendizado de máquina pode passar a ser mais interessante, sistemas de recomendação podem usar estruturas mais complexas como grafos, modelos robustos que demandam mais poder computacional, treinamentos que envolvem paralelismo como aprendizado baseado em leituras de imagens grandes possuem seus próprios segmentos de trilha, esse modelo de processo de aprendizado aqui abordado representa modelos simples que podem ser feitos individualmente por analistas que utilizam um computador pessoal, pode-se aplicar em produção de pequenos sistemas com um valor agregado maior, é comum que o aprendizado seja tratado de maneira fora do escopo de programadores e uma área diferenciada da pesquisa, mas é possível aplicar nos desenvolvimentos de sistemas transacionais de maneira mais tranquilas possíveis, compreendendo as características e a aplicação pragmática dos modelos matemáticos.

REFERÊNCIAS

AGRAWAL, A. **Máquinas Preditivas: A Simples Economia da Inteligência Artificial**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.

ALCOFORADO, L. **Utilizando a linguagem R: Conceitos, manipulação, visualização, modelagem e elaboração de relatórios**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2021.

AMARAL, F. **Introdução à Ciência de dados: Mineração de dados e Big Data**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2016

BASTOS, P. **Redes Bayesianas: Aplicações em confiabilidade e no diagnóstico de perdas não técnicas**. Curitiba: Appris, 2017.

BRUCE, P. **Estatística Prática para Cientistas de Dados**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.

FOURIER, J. **Ensaio filosófico sobre as probabilidades**. Rio de Janeiro: PUC Rio, 2010.

GÉRON, A. **Mãos à Obra: Aprendizado de Máquina com Scikit-Learn & TensorFlow**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.

GRUS, J. **Data Science do Zero: Primeiras regras com o Python**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2016.

HARRISON, M. **Machine Learning: Guia de Referência Rápida**. São Paulo: Novatec, 2020.

MCKINNEY, W. **Python para Análise de Dados**. São Paulo: Novatec, 2018.

NEGRI, R. **Reconhecimento de Padrões: Um estudo dirigido**. São Paulo: Blucher, 2021.

CAPÍTULO 11

CARVÃO ATIVADO OBTIDO DA CASCA DE COCO VERDE PARA REMOÇÃO DE CORANTE AM EM MEIO AQUOSO: CARACTERIZAÇÃO E CINÉTICA DE ADSORÇÃO

Dhessyca Maria Vitoria Gonçalves Soares
Anderson Yuri Martins da Silva
Isabelle Cristina Cruz Pereira
Waneise Caroline Oliveira de Souza
Alcino Matos de Azevedo Pontes Neto
Shirley Cristina Cabral Nascimento
Marlice Cruz Martelli

RESUMO

O carvão ativado é um material adsorvente amplamente utilizado para realizar a purificação da água e diversos componentes de forma eficaz, entretanto, seu custo comercial ainda é de alto valor estimado. O coco verde é uma fruta com alto teor de carbono, e cerca de 80% de seu fruto é descartado, podendo ser utilizado para fins tecnológicos como a síntese de carvão ativado. Assim, este trabalho teve como objetivo a produção e a caracterização de um carvão ativado termicamente, utilizando as fibras do coco verde, incluindo a avaliação da capacidade de remoção do azul de metileno por adsorção. Para isso, foi realizada uma pirólise com temperatura a 550°C. O potencial de carga zero (PCZ), rendimento gravimétrico, a microscopia eletrônica de varredura (MEV) acoplada a espectroscopia de energia dispersiva de raio-X (EDS), testes cinéticos e modelagem matemática para avaliar o modelo teórico que melhor prediz a cinética de adsorção, foram os testes realizados para a caracterização do material obtido. Dessa forma, foi possível analisar que o carvão ativado da casca do coco verde tem uma melhor atividade adsorptiva em meios básicos de pH 8,0, obteve 11,66% de rendimento gravimétrico, sendo que o modelo cinético que mais se ajustou aos dados experimentais foi o de pseudo-primeira ordem. Estes resultados mostram que o carvão ativado da casca do coco verde se apresenta como uma alternativa viável e de baixo custo para aplicação na limpeza de efluentes líquidos da indústria têxtil.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção. Azul de Metileno. Carvão Ativado. Coco Verde. Pirólise.

1. INTRODUÇÃO

Reconhecido como importante recurso vegetal, em função da gama de produtos de importância econômica, social e ambiental, o coco, fruto típico de regiões tropicais, se destaca também pela importante atividade geradora de emprego e renda. Em relação ao resíduo orgânico gerado, há diferentes formas de tratar como a trituração da casca e da fibra, usados na fabricação de diversos subprodutos industriais, agrícolas, artesanais e até mesmo na geração de energia, agregando valor e reduzindo o acúmulo dos cocos descartados (BONAMONE *et al.*, 2019).

O principal transtorno causado pelo acúmulo das cascas é devido ao seu longo tempo de decomposição, que pode ser de até 12 anos. Tendo em vista a sua forma e constituição de difícil compactação, há necessidade de maior espaço de armazenamento, o que colabora com a diminuição do tempo de vida útil dos aterros sanitários (DIAS *et al.*, 2019). Alternativas de

reaproveitamento da casca do coco verde possibilita a redução da disposição de seus resíduos de forma inadequada, além de proporcionar uma nova opção de renda junto ao local de produção e descarte do produto.

Neste contexto, observa-se na literatura um crescente reaproveitamento de cascas e fibras, às quais estão incluídas o uso como substrato agrícola, produção de papel, em artesanatos e telas de proteção do solo. Outra aplicação importante é o uso desta biomassa na produção de carvão ativado, tendo em vista o seu alto teor de carbono. O carvão ativado tem sido comumente utilizado como material adsorvente, pois suas propriedades texturais viabilizam a remoção de micro poluentes, no entanto, embora o carvão ativado apresente elevada capacidade de adsorver moléculas orgânicas, existe a preocupação envolvendo o custo deste produto, que inviabiliza sua aplicação em larga escala.

Sendo assim, é proposto neste trabalho a produção e a caracterização de um carvão ativado termicamente, utilizando as fibras do coco verde, incluindo a avaliação da capacidade de remoção do azul de metileno por adsorção, utilizando o carvão ativado produzido.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Casca de coco

A casca de coco verde (*Cocos nucifera*) que em muitas regiões causa transtorno ao serviço de limpeza pública pelo volume e pela dificuldade de decomposição produz uma fibra que pode ser utilizada como substrato, porém, é um resíduo com poucas ações de reaproveitamento implantadas no Brasil. Segundo dados da EMBRAPA (2014) 1,9 bilhões de cocos colhidos no Brasil geraram 2,7 milhões de toneladas de resíduos, onde 80 % do peso bruto do coco verde ou 1,5 bilhões, em casca, representam descarte para o mercado. A grande parte da destinação deste resíduo no Brasil é para aterros sanitários, com cerca de 8,6 milhões de toneladas de casca por ano.

Os resíduos sólidos descartados de maneira inadequada, geram grande poluição ambiental, colocando em risco a saúde pública. Além disso, o descarte inadequado gera uma poluição visual. Segundo Santos (2015), é considerado poluição visual todo efeito danoso resultante dos impactos visuais causados por determinadas ações e atividades, a ponto de prejudicar a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criando condições adversas às atividades econômicas e afetar as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente.

2.2 Carvão ativado

Carvão ativado é uma formação de carbono com porosidade elevada, que sofreu processamento para aumentar a porosidade interna, além de também apresentar baixa quantidade de heteroátomos. Ele pode ser encontrado em pó ou granulado, conforme sua aplicação (MORAVIA, 2007). O carvão pode ser produzido através do processo de carbonização e pirolise de materiais orgânicos, como disse Mangueira (2014), carvões ativados podem ser produzidos a partir de uma variedade de matérias-primas como madeira, sementes, ossos de animais, petróleo, carvões minerais, plástico, pneus, lignina e materiais betuminosos, turfa (carvão fóssil), carvão de pedra (brasa) e variados resíduos lignocelulósicos como casca de coco, casca de arroz entre outras biomassas.

O carvão pode ser utilizado para seletiva de remover gases, líquidos e impurezas no interior dos seus poros (ALVES, 2007), além disso, pode ser utilizado em tratamento de água onde o carvão cumpre a função de adsorvente, retendo em seus poros impurezas. Essas moléculas permanecem fixadas ao carvão ativado por forças físicas (LETTERMAN, 1999).

Segundo Marsh (2001) e Fernandes (2019), em torno de 400.000 toneladas de carvão ativado são produzidas de diversas formas ao redor do mundo, anualmente, partindo de aproximadamente 1 milhão de toneladas de variados precursores. Na atualidade existem aproximadamente 150 companhias produtoras de carvão ativado no mundo.

2.3 Adsorção

A adsorção é um processo de transferência de massa, no qual o adsorvente (material em geral sólido e poroso) retira uma ou mais substâncias do adsorvato (frequentemente se apresenta como fluido) com um contato direto desses dois, sendo que esse segundo se concentra na parte externa do adsorvente, sendo assim, quanto maior a área externa dele, melhor é realizada a adsorção (NASCIMENTO, 2020). O processo de separação por esse método apresenta três mecanismos de funcionamento diferentes, sendo eles os mecanismos estérico, equilíbrio e cinéticos.

O processo de adsorção é classificado em dois tipos, a física (fisissorção) e a química (quimissorção), a diferença entre a natureza dos dois são as forças que motivam esses fenômenos, no primeiro caso as forças físicas são os únicos fatores que o motivam, enquanto a quimissorção, acontece por conta de reações químicas, tornando as ligações mais fortes que as anteriores.

Existem diversos modelos que explicam o comportamento da adsorção divididos em dois tipos; de isoterma de adsorção e de cinética de adsorção. No de cinética de adsorção, os principais modelos citados e encontrados na literatura são os de Elovich, Weber e Morris, Pseudo-primeira ordem e Pseudo-segunda ordem, que partem de equações diferenciais, chegando em relações não lineares, que podem ser linearizadas e testadas, comprovando qual melhor se ajusta a cada determinada adsorção realizada.

3. METODOLOGIA

A norma brasileira que define os requisitos e métodos de ensaios exigíveis para a aceitação de Carvão ativado pulverizado – Especificações é a NBR 11834 (ABNT, 1991).

3.1 Material Adsorvente

Para obtenção do material adsorvente, utilizou-se sete cocos verdes obtidos em praças locais na cidade de Belém-PA. A fibra dos cocos verdes reciclados do tipo Cocos nucifera linn foram obtidas após o tratamento físico dos corpos de prova, realizado no Laboratório de Engenharia Química, da Universidade Federal do Pará. Após a coleta, os corpos de prova foram abertos para retirada da água e do endocarpo onde foram postos na estufa, à 80°C por 24 horas, a fim de reduzir a umidade do material. Os corpos de prova foram submetidos a cortes em tamanho de 3 cm, e, então, fragmentado. O material fragmentado foi lavado com água corrente com o auxílio de peneiras, onde foram submetidas novamente a estufa por 24 horas, à 80°C.

3.2 Pirólise

A pirólise foi realizada contendo 30 g de fibras fracionadas. Foram realizado um ensaio onde foram carbonizadas com auxílio de um cadinho de porcelana em forno mufla QUIMIS a uma temperatura de 550°C e tempo de residência de 20 minutos, para remoção de materiais voláteis e aumento do teor de carbono.

3.3 Rendimento Gravimétrico (RGCA)

Para verificar o rendimento gravimétrico em carvão ativado, ou seja, relacionar a quantidade de carvão produzido e a quantidade de fibra enforada (base seca ou base úmida). Quanto maior for o rendimento, maior a produção e maior o lucro das empresas. Foram feitas diversas pesagens durante o experimento e o RGCA foi determinado através da equação 1, em que m_f = massa seca final do carvão ativado, em gramas e m_0 = massa seca inicial do material precursor utilizado, em gramas:

$$RG_{CA} (\%) = \frac{m_f}{m_0} * 100 \quad (1)$$

3.4 Métodos de Caracterização

A morfologia superficial do carvão foi analisada através de ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV), para verificar a morfologia. Em seguida, foram geradas imagens em preto e branco, dispondo de alta resolução da superfície das amostras por meio de um aparelho modelo VEGA de TESCAN acopladas a técnica de espectroscopia dispersiva em comprimento de onda (EDS), possibilitando identificar de maneira qualitativa e semiquantitativa os elementos químicos presentes na superfície do material.

3.5 Determinação do Potencial de Carga Zero (PCZ)

No processo de adsorção, o ponto de carga zero (PCZ), é definido como o pH em que a superfície do sólido possui carga neutra. O seu processo permite prever a ionização de grupos funcionais de superfícies e sua interação com espécies de metal em solução, exemplificando, quando o sólido adsorvente é carregado negativamente em soluções de pH superior ao PCZ, poderá interagir com espécies metálicas positivas e quando é carregado positivamente em soluções de pH inferior ao PCZ, poderá interagir com espécies negativas (FIOL; VILLAESCUSA, 2008 *apud* SILVA, 2012). A determinação do ponto de carga zero, neste experimento foi realizado através da separação de 11 amostras contendo cerca de 0,25g do material. O pH foi manipulado com soluções de HCl e NaOH, ambas em 0,1 M. A realização do PCZ, ocorreu em forma crescente de acordo com a determinação do pH 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 através da estabilização com o ácido ou base citados, a averiguação de mudança do pH ocorreu por meio do auxílio de um PHmetro. Logo, as soluções foram transferidas para um banho termostático Dubnoff por 24 horas em rotação de 13 RPM.

Após 24 horas de agitação, mediu-se o pH final para a comparação com as medições anteriores e a plotação dos gráficos de pH inicial versus pH final para o material, realizando uma média aritmética dos valores finais que tendem aos valores para a determinação do PCZ.

3.6 Curva Padrão de Calibração

Para determinação da curva de calibração, foi misturada uma solução mãe de azul de metileno a 60 ppm e diluída gradativamente para obter alíquotas de 50 ppm, 40 ppm, 30 ppm, 20 ppm e 10 ppm. Cada alíquota foi coletada com auxílio de um conta gota, colocadas em uma cubeta de quartzo e analisadas no espectrofotômetro de UV-1800 (SHIMADZU) no comprimento de onda de 664 nm para leitura da absorbância, assim como Rêgo Júnior *et al.*, 2022 e Correia *et al.* (2020).

3.7 Cinética de Adsorção

Para a cinética de adsorção, a solução mãe foi diluída para 50 ppm de azul de metileno e distribuídos 50 mL de amostra em 12 erlenmeyers, e em seguida, para cada amostra, foram adicionados a massa de 0,25 g de carvão. No processo seguinte, as soluções foram encaminhadas ao banho termostático, no decorrer do tempo foram retiradas alíquotas nos instantes de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos, em seguida essa fração foi destinada à análise de espectrofotometria para obtenção da absorbância. Com os valores de absorbância das soluções e da curva de calibração, determinou-se o tempo necessário atingir o equilíbrio e realizar os ajustes dos modelos não lineares de cinética de adsorção com os dados experimentais. A tabela 1 mostra os modelos que foram testados para encontrar as constantes das taxas cinéticas de adsorção.

Tabela 1: Modelos não lineares de cinética de adsorção.

Modelo	Equação
Pseudo-Primeira Ordem	$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t})$
Pseudo-Segunda Ordem	$q_t = \frac{k_2 q_e^2 t}{1 + k_2 q_e t}$
Elovich	$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(1 + \alpha \beta t)$

Fonte: Autoria própria (2023).

3.8 Análise Estatística

Para a análise estatística do melhor modelo da cinética de adsorção foram utilizados o qui quadrado (χ^2) e o coeficiente de determinação (R^2) apresentados nas Equações 2 e 3 respectivamente.

O qui quadrado (χ^2), mostrado na Equação 1, estabelece o grau de correspondência entre as frequências observadas (x_i) e calculadas (y_i), ou seja, se há uma diferença significativa entre os valores observados e calculados (SIEGEL; CASTELLAN, 2008).

$$\chi^2 = \sum_{i=k}^k \frac{(x_i - y_i)^2}{y_i} \quad (2)$$

O coeficiente de determinação, conhecido por R^2 , é o quadrado do coeficiente de correlação momento-produto de Pearson. Este parâmetro mostra se há uma correlação entre duas variáveis quando uma delas está possivelmente relacionada com a outra, representando a variação da variável dependente que é explicada pela variação da variável independente (KENNEDY, 2008). O cálculo foi realizado a partir da Equação 3.

$$R^2 = \frac{(\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))^2}{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Rendimento Gravimétrico (RGCA)

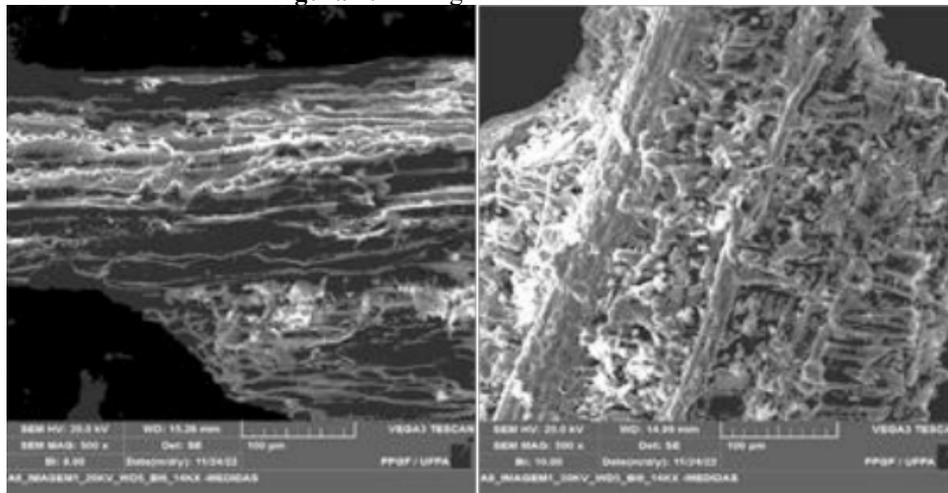
Após a pirólise de 30 g de casca de coco, foi medida a massa final de carvão ativado, de 3,5g. Com o cálculo do rendimento de aproximadamente 11,66%, valor intermediário aos valores obtidos por outros carvões ativados fisicamente da literatura, a partir de subprodutos agrícolas, florestais e resíduos de forma geral, como, espigas de milho com 8,7% (EL-HENDAWY *et al.*, 2001) e de fibras de piaçava com 23,3% (AVELAR *et al.*, 2010). Estes resultados estão associados à composição química do precursor, principalmente em relação ao teor de lignina, pois, em geral, materiais com pequena quantidade deste componente, apresentam uma menor estabilidade térmica e conseqüentemente menores rendimentos. O teor de lignina para o endocarpo de coco é cerca de 33% (ARENA *et al.*, 2016).

4.2 Métodos de Caracterização

4.2.1 Microscopia Eletrônica de Varredura

Os resultados obtidos, referentes às micrografias das superfícies das amostras de carvão ativado, analisados pela técnica de microscopia eletrônica de varredura, estão apresentados na Figura 1. Observa-se que a superfície é irregular, com aparente desmantelamento da estrutura fibrosa do material *in natura*, caracterizada pela carbonização de outros materiais à base de celulose e, também há apresentação de estrutura porosa, mais bem observada na imagem da esquerda, formada pela eliminação de voláteis e gases, devido a combustão do material orgânico.

Figura 1: Micrografia do carvão ativado.

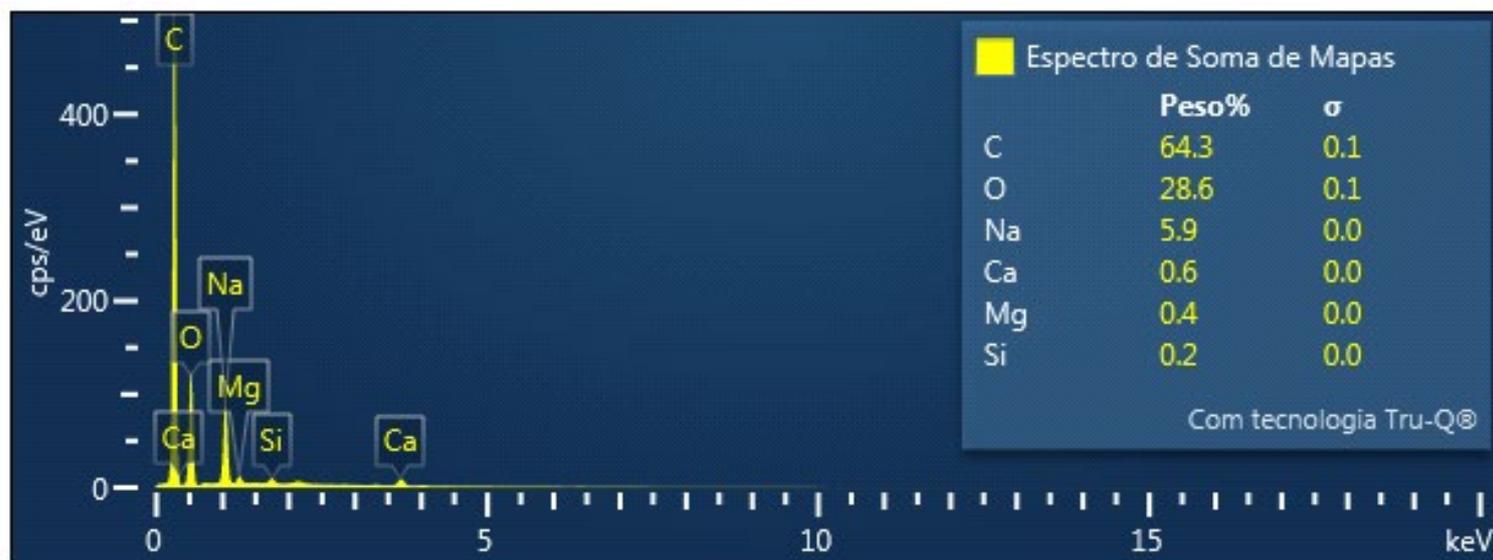


Fonte: Autoria própria (2023)

4.2.2 Espectroscopia por Energia Dispersiva - EDS

Os resultados obtidos quanto a Espectroscopia por Energia Dispersiva estão na imagem da Figura 2, em que é evidenciada a predominância dos elementos carbono (64,3%) e oxigênio (28,6%), o que era previsto por se tratar de compostos orgânicos. Além disso, também foi observada a presença de minerais, como sódio (5,9%), e mais baixas concentrações de cálcio (0,6%), magnésio (0,4%) e silício (0,2%).

Figura 2: Espectro de EDS do carvão ativado.



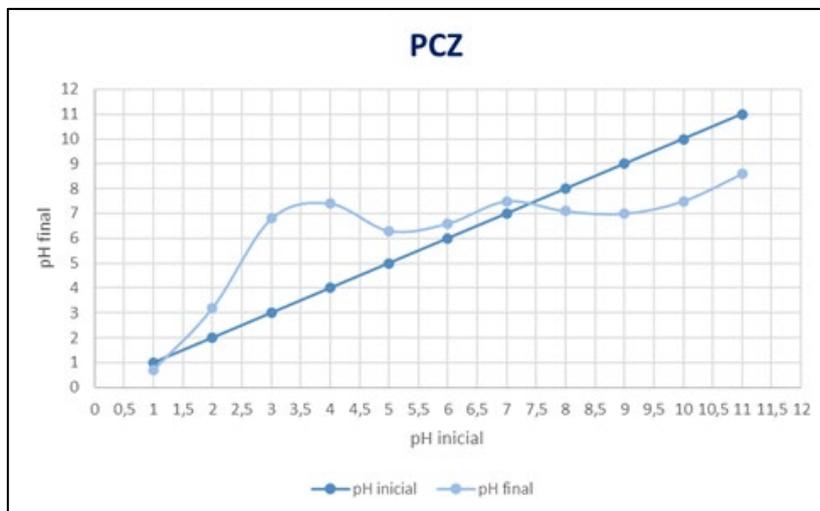
Fonte: Autoria própria (2023).

4.3 Potencial de Carga Zero - PCZ

O Gráfico 1 mostra os valores obtidos a partir das análises do potencial de carga zero pela metodologia de Bourikas (2003). O valor obtido do PCZ foi de 7,4, valor no qual o carvão termicamente ativado atua como uma solução tampão. Soluções com pH acima desse valor, favorece a adsorção de cátions, uma vez que se tem a superfície do carvão carregada negativamente. Já quando ocorre o contrário, ou seja, em soluções com pH abaixo de 7,4 a adsorção de ânions é favorecida, pelo fato de a superfície do carvão estar carregada

positivamente (MOURA, 2016; NASCIMENTO 2020). A avaliação do PCZ é importante porque permite prever a carga na superfície do adsorvente em função do pH.

Gráfico 1: PCZ da amostra de carvão.



Fonte: Autoria própria (2023).

4.4 Curva Padrão de Calibração

Os ensaios para a determinação da curva padrão concentrações de 10, 20, 30, 40, 50, 60 de azul de metileno. Obtendo-se os resultados de absorvância obtidos conforme mostrados na Tabela 2.

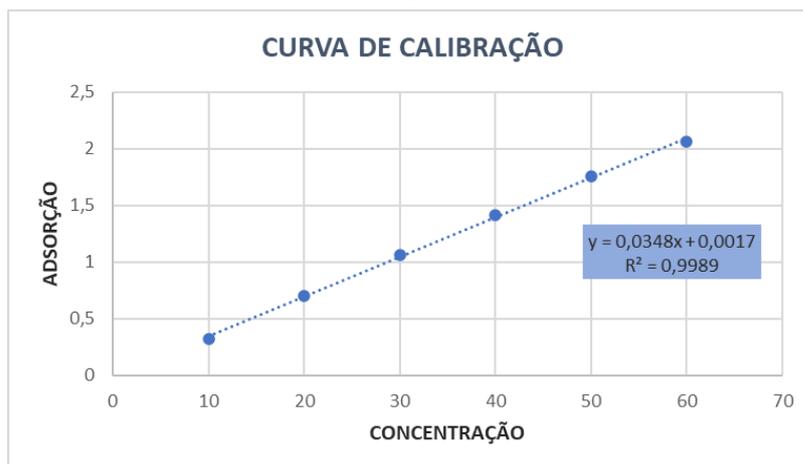
Tabela 2: Adsorbância versus concentração.

Concentração (mg/L)	Adsorbância
10	0,325
20	0,705
30	1,064
40	1,413
50	1,757
60	2,063

Fonte: Autoria própria (2023).

A curva de calibração foi confeccionada para que fosse possível determinar a concentração real das soluções dos corantes pré e pós-testes de adsorção, por meio da correlação linear entre a adsorbância e a concentração, conforme apresentada no gráfico do Gráfico 2.

Gráfico 2: Curva de calibração para a solução de azul de metileno.



Fonte: Autoria própria (2023).

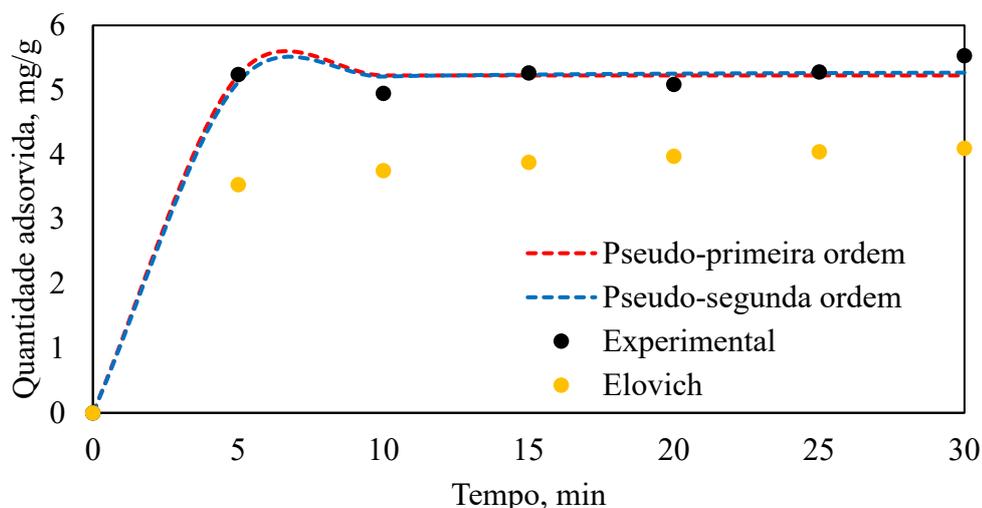
Com os valores de absorvância obtidos x concentração, obteve-se a Equação 4.

$$C_f = \frac{Abs - 0,0017}{0,0348} \quad (4)$$

4.5 Cinética de Adsorção

O Gráfico 3 mostra a capacidade de adsorção (q_t) em função do tempo (t) referentes aos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e de Elovich. Observa-se pelo comportamento das curvas que o equilíbrio adsorptivo é atingido em 10 min, demonstrando assim que a partir desse tempo a superfície do carvão ativado encontra-se saturada, não ocorrendo mais a transferência das moléculas do azul de metileno presente na solução para a superfície da matriz.

Gráfico 3: Modelos cinéticos para o carvão ativado.



Fonte: Autoria própria (2023).

4.6 Análise estatística

Na Tabela 3 são apresentados os parâmetros de ajustes aos modelos cinéticos com o coeficiente de determinação (R^2) que é fundamental para determinar qual modelo apresenta o melhor ajuste e o qui -quadrado χ^2 . Os três modelos ajustaram satisfatoriamente aos dados experimentais ($R^2 > 0,98$), indicando serem capazes de explicar 98% das variabilidades experimentais.

Tabela 3: Parâmetros estatísticos dos modelos cinéticos de adsorção.

Modelo	Parâmetros	Valores	Unidade
Pseudo-Primeira Ordem	k_1	0,46244	min^{-1}
	q_e	3,95851	mg/g
	R^2	0,9938	adimensional
	χ^2	0,0206	adimensional
Pseudo-Segunda Ordem	k_2	0,44673	g/mg. min
	q_e	4,05736	mg/g
	R^2	0,9898	adimensional
	χ^2	0,0346	adimensional
Elovich	α	4716,66	mg/g. min
	β	3,17524	mg/g
	R^2	0,9818	adimensional
	χ^2	0,0611	adimensional

Fonte: Autoria própria (2023).

Os resultados evidenciam maior valor para coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9938$) ao modelo de pseudo-primeira ordem, portanto, este foi o que melhor se ajustou entre os modelos testados, indicando que a quantidade de corante disponível é razoavelmente menor que o número dos sítios ativos. Já o pseudo-segunda ordem permite inferir que o processo é regido por quimissorção, que envolve as forças químicas de interações entre o carbono e o corante. Os parâmetros α (taxa de adsorção) e β (coeficiente de dessorção) do modelo de Elovich, possibilitam inferir a viabilidade do processo de remoção do corante. É possível observar que α é elevado, enquanto β é baixo, indicando assim que a taxa de dessorção é reduzida devido as interações químicas moleculares estáveis do corante e carvão, como também observado e discutido por Monteiro *et al* 2022.

A partir do estudo da cinética, foi possível observar que a equação de pseudo-primeira ordem para a amostra fornece o valor de adsorção máxima, $q_e = 3,95851$ mg/g, assim como o coeficiente de determinação (R^2) de 0,9938, e pelo menor valor reduzido (χ^2), igual a 0,0206, indicando que existe pouca variabilidade experimental, proporcionando um excelente ajuste. Segundo Tavares *et al.*, 2020, isso implica em uma variação diretamente proporcional entre a velocidade de adsorção com a quantidade de sítios disponíveis e que a adsorção envolve forças

de valência ou troca de elétrons entre o adsorbato e o adsorvente. Nos trabalhos Santos *et al*, 2019 e de Teixeira, 2020 também obtiveram melhores ajustes para o modelo de pseudo-primeira ordem.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cinética adsortiva demonstrou que a capacidade máxima de adsorção é atingida em 10 min sendo um tempo bastante curto e que os ajustes foram satisfatórios aos três modelos cinéticos testados.

A aplicação do carvão da biomassa do coco verde mostrou ser promissora e de baixo custo para remoção do corante azul de metileno, tanto pelo baixo valor e alta disponibilidade da matéria-prima quanto pelo processo adsortivo utilizado apenas com a carbonização, sem necessitar de outros gastos para ativação térmica e nem química, possibilitando ser reproduzida em escala industrial por processo de adsorção. Desta forma, além da eficiência de remoção no tratamento do corante, também agregará valor ao subproduto que geralmente é descartado, minimizando o impacto ambiental pela redução do resíduo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (ABNT). **NBR 11834 - Carvão ativado pulverizado - Especificação**. Rio de Janeiro, 1991.

ARENA, N.; LEE, J.; CLIFT, R. Life Cycle Assessment of activated carbon production from coconut shells. **Journal of Cleaner Production**, v. 125, p. 68–77, jul. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616301421?via%3Dihub>. Acessado em: Out. 2022.

ALVES, A. C. M. **Avaliação do tratamento de efluentes líquidos contendo cobre e chumbo por adsorção em carvão ativado**. 2007. 56 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/riufal/415>. Acessado em: Jan. 2023.

AVELAR, F. F. *et al*. The use of piassava fibers (*Attalea funifera*) in the preparation of activated carbon. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 12, p. 4639–4645, jun. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410001896>. Acessado em: Out. 2022.

BONAMONE, M. de B. *et al*. Logística reversa do resíduo de coco verde. **Revista LOGS: Logística e Operações Globais Sustentáveis**, São Paulo, v. 1, n. 1, jun. 2019. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/LOGS/article/view/12681/7705>. Acessado em: Out. 2022.

BOURIKAS, K. *et al.* Potentiometric Mass Titrations: Experimental and Theoretical Establishment of a New Technique for Determining the Point of Zero Charge (PCZ) of Metal (Hydr)Oxides. **J. Phys. Chem.** Washington, v. 107, p. 9441- 9451, ago, 2003. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jp035123v>. Acessado em: Out. 2022.

CORREIA, L. F. *et al.* Aproveitamento do bagaço de malte como adsorvente para a remoção do corante azul de metileno. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e730997781, set. 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/7781>. Acessado em: Out. 2022.

DIAS, N. B. *et al.* Aproveitamento da casca de coco verde para uso energético. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, Vitória, p. 179-195, jul, 2019. Disponível em: https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/V05N03_13. Acessado em: Out. 2022.

KENNEDY, P. **A Guide to Econometrics**. Massachusetts: Blackwell Publishing, 2008.

LETTERMAN, R. D. **Water quality and treatment: a handbook of community water supplies**. 5 Ed. New York: McGraw-Hill: American Water Works Association, 1999. 1 v.

MANGUEIRA, E. S. V. **Produção de carvão ativado a partir de endocarpo de coco da Baía (Cocos nucifera) aplicado ao processo de adsorção do herbicida metribuzin**. 2014. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/5539>. Acessado em: Jan. 2022.

MONTEIRO, K. A. *et al.* Adsorção de corante têxtil em carvão ativado produzido a partir de resíduo da agroindústria. In: **Congresso Brasileiro de sistemas Particulados**, XL, 2022. Uberlândia. Anais eletrônicos, Campinas: Galoá, 2022. Disponível em: <https://proceedings.science/enemp/enemp-2022/trabalhos/adsorcao-de-corante-textil-em-carvao-ativado-produzido-a-partir-de-residuo>. Acessado em: Out. 2022.

MARSH, H. (Ed.). **Activated carbon compendium**. London: Elsevier, 2001

NASCIMENTO, R. F. do. *et al.* **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/10267>. Acessado em: Out. 2022.

RÊGO JÚNIOR, A. G. do. *et al.* Estudo da remoção de corante azul de metileno de soluções aquosas usando o bambu in natura (*Bambusa Vulgaris*) como adsorvente. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, p. e46711629314, mai, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/29314>. Acessado em: Out. 2022.

SANTOS, G. B. *et al.* Produção de Carvão ativado a partir da Casca de Café. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**, XI, 2015. Campinas: Anais eletrônicos. São Paulo: Blucher, 2015. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/produo-de-carvo-ativado-a-partir-da-casca-de-caf-19681>. Acessado em: Jan. 2023.

SIEGEL, S.; CASTELLAN JUNIOR, J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 435p.

TAVARES, F. P.; SOUZA, D. L. de; SANTOS, K. G. dos. Biossorção de Azul de Metileno empregando serragem do gênero *Apuleia Leiocarpa*. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e796974768–e796974768, jun. 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/4768>. Acessado em: Out. 2022.

TEIXEIRA, J. L. **Obtenção e caracterização de carvão ativado a partir da casca de coco verde**. Dissertação (Mestrado em Engenharia De Minas, Metalúrgica E De Materiais) Metalurgia e Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/212986>. Acessado em: Mai. 2023.

CAPÍTULO 12

SOLMÁFORO UMA PROPOSTA DE EQUIPAMENTO PARA MEDIÇÃO E INDICAÇÃO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA NO MUNICÍPIO DE BATAYPORÃ, MS²

Juliane da Silva Gonçalves Santana Lima
Gabriela Priscila Teodoro Santini
Cintia Samulha da Silva
Luiz Henrique Silva Santana
Betina Tavares Oliveira Aquino
Carlos Eduardo Felipe Silva
José Eduardo Fernandes Vieira
Marilana Colodino dos Santos

RESUMO

O aumento da população urbana e das atividades econômicas estão fortemente ligados com a crescente emissão de gases do efeito estufa, isso torna um dos principais fatores do aumento da temperatura no planeta, agravado pelo aquecimento global. O aquecimento global está intimamente relacionado com a emissão de gases poluentes, causando maior intensificação no efeito estufa e a degradação da camada de ozônio, por consequência ocasionando desequilíbrio no planeta e no meio ambiente. Os raios ultravioletas contribuem na sintetização da vitamina D e no tratamento de algumas doenças, porém, a exposição contínua pode acarretar lesões na pele, câncer de pele, problemas de visão entre outras, sendo a população exposta todos os dias à estas radiações, muitas vezes sem a proteção correta. O presente trabalho visou descrever os benefícios e malefícios da radiação (UV) através de um levantamento bibliográfico, relacionando os efeitos da radiação (UV) e a incidência de câncer de pele, realizar o levantamento de casos de câncer de pele no município de Batayporã, MS, conhecer os hábitos da comunidade em relação à exposição solar e construir um protótipo com a finalidade de medir e indicar a radiação ultravioleta no local, para alertar sobre os cuidados que devem ser realizados para proteção da pele, assim como, promover o incentivo à pesquisa científica por meio do trabalho colaborativo. Os dados coletados e analisados demonstraram que não há casos detectados pela Secretaria de Saúde local, mesmo não havendo campanhas direcionada a prevenção do câncer de pele, o questionário mostrou que a maioria tem o conhecimento sobre os riscos à exposição solar e utilizam como forma de proteção o protetor solar e o protótipo é funcional e viável, sendo de grande inovação, porém, necessitando de empresas parceiras que queiram investir nessa nova tecnologia para que este possa ser implementado em locais públicos contribuindo para uma qualidade de vida da comunidade.

PALAVRAS-CHAVE: Radiação Ultravioleta. Aquecimento Global. Efeito Estufa. Câncer de Pele. Trabalho Colaborativo.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da população urbana e das atividades econômicas estão fortemente ligados com a crescente emissão de gases do efeito estufa, isso se torna um dos principais fatores do aumento da temperatura no planeta, agravado pelo aquecimento global.

² FUNDECT – Fundo de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul. Programa PICTEC-MS.

Pesquisadores internacionais chegaram à conclusão que as atividades humanas contribuem para a mudança do clima da Terra, aumentando assim, os riscos para as cidades, baseando-se em diferentes comprovações, desde a história do clima do planeta a registros recentes de mudanças nesse histórico pelo fato do surgimento de novos padrões de climas extremos (ROSENZWEIG *et al.*, 2015).

Segundo Ambrizzi *et al.* (2007) e Marengo (2009) há indicação de aumento de 2°C a 6°C na temperatura do ar no período entre 2071 a 2100 para o território brasileiro de acordo com as projeções climáticas regionalizadas.

O aquecimento global está intimamente relacionado com a emissão de gases poluentes, causando maior intensificação no efeito estufa e a degradação da camada de ozônio, por consequência ocasionando desequilíbrio no planeta e no meio ambiente.

Vale ressaltar que o ozônio é um gás com concentração pequena na atmosfera, tendo sua presença na estratosfera e troposfera filtrando os comprimentos de onda menores, na região da troposfera, este tem a tendência de atuar como um gás poluente, porém na estratosfera, ele possui uma importante função, de absorver parte da Radiação Ultravioleta que incide na superfície da Terra, sendo nociva (em casos de superexposição) aos seres vivos (KARAGAS *et al.*, 1992; SALBY, 1996; FIOLETOV, 2008; CORRÊA *et al.*, 2006).

Besancenot (2001 *apud* MENDONÇA, 2003) afirma que, ao ser reduzido 1% do ozônio presente na estratosfera refletirá em um aumento em torno de 25% da densidade do fluxo da radiação ultravioleta B que chega à superfície do planeta, e complementa que a camada de ozônio tem diminuído significativamente nas altas latitudes (em torno de 50%) que nas baixas (em torno de 2%).

Emitidas pelo Sol, as Radiações Ultravioletas (UV) chegam na Terra em forma de ondas eletromagnéticas, apresentando um espectro na faixa de 100 a 400 nm, de acordo com a intensidade que esta é absorvida pelo oxigênio e ozônio, assim como, pelos efeitos fotobiológicos causados, elas podem ser divididas em três intervalos, dispostos da seguinte forma: UVC (100 a 280 nm), UVB (280 a 320 nm) e UVA (320 a 400nm).

Expostos diariamente a população, principalmente quando não protegidas adequadamente, a radiação ultravioleta pode desencadear diversos danos, desde os mais leves, como as mudanças degenerativas no tecido conjuntivo (elastina e colágeno) do ser humano, assim como, enrugamento, frouxidão e aparência envelhecida da pele, até as mais severas, como queimaduras, inflamações, mutações genéticas e o câncer de pele (SILVA, 2007).

De acordo com Groff (2008) para que esses danos possam ser gerados à população, alguns fatores devem ser levados em conta com relação a intensidade da radiação ultravioleta e seu comprimento de onda, sendo eles: altitude, latitude, estação do ano, horário e condições atmosféricas.

A maioria dos tumores de pele tem sua incidência aumentada com a idade e o sexo, sendo o mais acometido é o sexo masculino, estando associado ao acúmulo das doses de exposição ao sol ou mais associado com a exposição intermitente para altas doses de radiação solar (LOPES *et al.*, 2017).

O presente trabalho teve como norte principal a construção de um protótipo com a indicação da radiação ultravioleta, contribuindo para a prevenção e alerta de doenças da pele, como, o câncer, assim como, divulgar as formas corretas de se proteger contra os raios solares, através do trabalho colaborativo entre os estudantes bolsistas, estimulando a pesquisa científica e incentivando o protagonismo estudantil.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Construir um protótipo para a medição e indicação da radiação ultravioleta (UV) e as condutas a serem realizadas para mitigar os níveis de radiação na pele.

2.2. Objetivos Específicos

- Descrever os benefícios e malefícios da radiação ultravioleta (UV) através de um levantamento bibliográfico;
- Relacionar os efeitos da radiação ultravioleta (UV) e a incidência de câncer de pele;
- Realizar o levantamento de casos de câncer de pele no município de Batayporã, MS;
- Construir e implementar o protótipo de medição da radiação ultravioleta (UV);
- Divulgar e alertar a comunidade escolar e a sociedade sobre os efeitos causados pela radiação ultravioleta (UV) e formas de prevenção através do protótipo, mídias sociais, jornal e rádio escolar.

3. METODOLOGIA

3.1. Área de estudo e trabalho

O desenvolvimento do trabalho se deu na unidade escolar da rede pública estadual EE Jan Antonin Bata - Escola da Aatoria, atendendo no período integral e noturno, com o início

em 01/09/2021 a 31/08/2022, no qual foi desenvolvido por três bolsistas que receberam fomento juntamente com a professora orientadora pelo Fundo de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT) do Programa PICTEC-MS.

Os trabalhos e encontros acontecerão em uma das salas disponíveis, com acesso à internet, ar-condicionado, computadores ou notebooks para que os alunos pudessem realizar seus trabalhos de pesquisa e elaboração do protótipo, assim como, a instituição escolar proporcionou todo apoio necessário para o desenvolvimento de atividades e concretização do protótipo, obedecendo todo protocolo de Biossegurança contra o Covid-19, visto que, o desenvolvimento inicial foi durante a pandemia.

3.2. Tipo de pesquisa

A metodologia do trabalho foi por meio da pesquisa quantitativa exploratória descritiva, com procedimentos por abordagem de forma direta com pesquisa em laboratório e de campo para levantamento de dados e indireta utilizando a pesquisa bibliográfica em sites, artigos, livros disponibilizados online.

Para a definição dos objetivos de aprendizagem e saber a classificação de acordo com os níveis de dificuldade, utilizou-se a taxonomia de Bloom, visto que, é uma ferramenta que auxilia no planejamento, assim como, na comunicação, hierarquização de forma cumulativa e no controle dos objetivos de aprendizagem, facilitando a troca de ideias e de materiais entre o aluno e o educador, envolvendo três esferas: Cognitivo, Afetivo e Psicomotor (Figura 1).

Figura 1: Categorização atual da Taxonomia de Bloom.



Fonte: Anderson *et al.* (2001).

3.3. Etapas de trabalho

As etapas do trabalho foram desenvolvidas segundo a sequência na construção da aprendizagem: 1) Levantamento bibliográfico com abordagem nos temas sobre a Radiação (UV) seus benefícios e malefícios, doenças de pele e cânceres de pele, os índices de câncer de pele na população brasileira e local e formas de prevenção da doença. 2) Entrevista na Secretaria

de Saúde do município para coleta de dados referente a índices, prevenção, tratamento e encaminhamento para indivíduos com câncer de pele. 3) Aplicação de questionário online. 4) Elaboração, montagem e implementação do protótipo com o uso do software Arduino 'UNO' para o envio das instruções a um microprocessador, conectado ao sensor de radiação UVM-30A e uma placa Protoboard de 400 pinos.

3.4. Pesquisa Bibliográfica

O levantamento bibliográfico se deu com a pesquisa em sites confiáveis, artigos científicos, trabalhos publicados disponíveis em formato eletrônico utilizando os computadores na unidade escolar com abordagem nas temáticas sobre a Radiação Ultravioleta (RU) seus benefícios e malefícios, sua relação com o desencadeamento das doenças de pele e cânceres de pele, os índices de câncer de pele na população brasileira e local e formas de prevenção da doença.

3.5. Coleta de dados

Este processo aconteceu com o agendamento prévio no qual houve a coleta de dados dos índices de câncer de pele e as medidas realizadas pela equipe de saúde na prevenção e tratamento no município de Batayporã, a entrevista ocorreu na Secretaria de Saúde (SMS), onde os estudantes realizaram o levantamento das informações pertinentes a respeito da doença. Os dados foram registrados no diário de bordo e compartilhados no drive, os estudantes coletaram as informações por meio de caderno e caneta, assim como, com o uso de celular para gravação do encontro, ressaltando que houve a permissão das funcionárias entrevistadas.

3.6. Aplicação do questionário, tabulação, redação e análise dos dados coletados

O questionário conteve questões de múltipla escolha sendo aplicado no formato eletrônico, elaborado no formulário (Forms) da plataforma do Google pelos alunos e disponibilizado o link de acesso utilizando como critério de escolha a população de adolescentes, jovens, adultos e idosos sendo divulgados em WhatsApp para familiares e conhecidos residentes no município de Batayporã- MS.

Para a tabulação dos dados utilizou-se a mesma plataforma do Google, pois esta possui um ambiente de fácil acesso e entendimento, fornecendo informações para a redação, interpretação e análise de dados.

As perguntas foram dispostas da seguinte forma:

1- Sexo

Masculino Feminino Não declarar

2- Idade

12 a 20 anos 21 anos a 30 anos 31 a 40 anos 41 anos a 50 anos acima de 50 anos

3- Cor da pele

Branca Parda Amarela Negra

4- Hábitos de exposição solar

Manhã Tarde

5- Tem conhecimento sobre os riscos à exposição solar (radiação)?

Sim Não Talvez

6-Quais medidas preventivas utiliza à fotoexposição?

Protetor solar Hidratação Boné ou chapéu Óculos de sol Outros

7- Possui ou já teve alguma lesão com bolhas por queimadura solar?

Sim Não Talvez

8- Faz ou já fez bronzeamento natural?

Sim Não

9- E bronzeamento artificial já realizou?

Sim Não

10- Alguém da família ou você tem ou teve câncer de pele?

Sim Não Talvez

3.7. Elaboração do protótipo

Para a elaboração do protótipo no primeiro momento ocorreu a apresentação dos materiais que seriam utilizados na confecção e a função que cada um desempenha no equipamento a ser construído. Os materiais (Software e Hardware) a utilizados foram os seguintes:

- Sensor para a detecção da radiação ultravioleta UVM-30A;
- 4 fios com aproximadamente 1 metro: verde (conexão GMD), amarelo (analógico Ao), vermelho (UCC 5v) e preto (fio terra);
- 3 Leds (verde, amarelo e vermelho);
- 3 resistores de 220 Ω ;
- 1 cabo USB;

- 1 Protoboard 400 pontos;
- 1 Placa Arduino modelo “UNO”;
- 1 Placa Solar 9v 3.5w 0.38a;
- Arame de solda (estanho);
- Ferro de solda; Cano de PVC 50 ou 100 mm;
- Parafusos;
- Ferramentas (martelo, alicate, chave de fendas etc.,).

O sensor detecta os raios UV oferecendo sinais analógicos ao microcontrolador e tensão de alimentação entre 3 e 5V, este é conectado à placa de Arduino ‘UNO’. Uma das vantagens é que consome menos energia e custo menor em comparação aos outros sensores de radiação.

O software Arduino é responsável por enviar instruções para ensinar o que fazer, em uma linguagem de programação, um ambiente de código aberto para diferentes tipos de microcontroladores, sendo flexível, pode ser usado tanto para usuários novos, assim como, para níveis mais avançados e com a possibilidade de ser executado em programas como: Windows, Linux e Mac, a alimentação será por meio ecológico utilizando a conversão fotovoltaica através da Placa Solar 9v 3.5w 0.38a. (Figura 2).

Figura 2: Arduino conectado no protótipo.



Fonte: Autoria própria (2022).

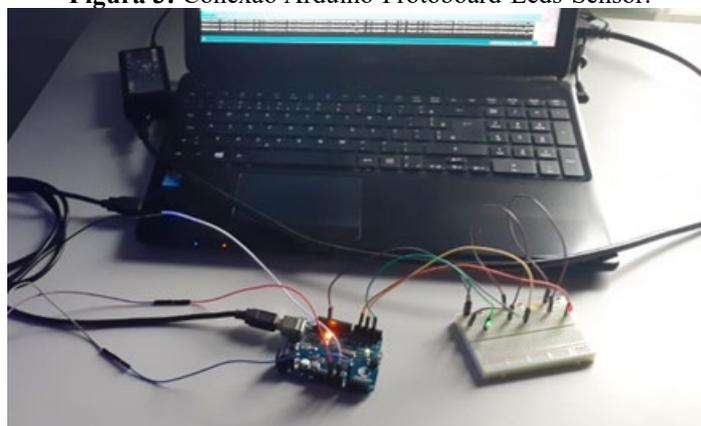
Os Leds foram conectados ao sensor UV por meio de fios ligados a placa de Arduino e este a Protoboard de 400 pinos com o uso de 3 resistores.

A placa Protoboard tem funcionalidade importante, nela é possível realizar montagem, desenvolvimento e testar diversos circuitos eletrônicos, tudo sem ter que soldar os componentes.

Os outros materiais como ferro de solda, arame de estanho e cabo de vassoura foram utilizados na confecção do equipamento da caixa do protótipo.

A linguagem de programação para Arduino utilizada foi desenvolvida pelos estudantes nos encontros diários, por meio de pesquisa em computadores, assessoria dos professores orientador e colaboradores com o uso de projetores para melhor entendimento, demonstração e prática com o uso das Placas de Arduino e Protoboard, Leds e sensor. (Figura 3).

Figura 3: Conexão Arduino-Protoboard-Leds-Sensor.



Fonte: Autoria própria (2022).

Os alunos aprenderam a manipular os materiais e construíram o equipamento com base no conhecimento adquirido, orientação e recursos tecnológicos disponíveis, promovendo uma aprendizagem significativa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento bibliográfico mostrou que a radiação UVC é retida na atmosfera em especial pela camada de ozônio não atingindo a superfície terrestre, a UVB é filtrada na camada de ozônio sendo que apenas 5% chegam na superfície e a UVA chegam na faixa de 95%, esses dados demonstram a importância desta na proteção do planeta, visto que, filtra e impede que os raios solares atinjam a superfície terrestre segundo sua intensidade. Entretanto os seres humanos vêm degradando a camada de ozônio e contribuindo substancialmente para que haja o aumento da temperatura devido a maior facilidade de a radiação ultravioleta penetrar a estratosfera.

No contexto geográfico, a Radiação (UV) é de maior incidência nas latitudes próximas à linha do Equador, como no caso do centro-oeste brasileiro, no qual seus habitantes estão

expostos diariamente aos raios solares UV intensos. Portanto, Batayporã - MS apresenta uma dose solar diária de IUV alta, por estar localizada no foco de maior incidência solar.

Medidas de precaução e alerta se faz necessário visto que o câncer de pele vem crescendo cada vez mais, nota-se que várias campanhas em relação ao câncer do colo do útero e de mama são realizadas sendo que são de grande importância, porém, o de pele deve ser incluído também nos programas de prevenção.

No município de Batayporã -MS não há casos detectados pela Secretaria de Saúde local, pois, não houve expedição de encaminhamento para tratamento, porém, mesmo não tendo sido triado pela entidade, é sabido que alguns casos já ocorreram na cidade e os indivíduos procuraram assistência e tratamento em outras localidades, é fato que a cidade não possui essa especificidade. Ressalta-se que não há trabalhos voltados para prevenção de câncer de pele na atenção primária do município.

O questionário obteve cento e dois participantes sendo que 80% mulheres, a maioria tem o conhecimento sobre os riscos à exposição solar e utilizam como forma de proteção o protetor solar, condizendo com a pesquisa de campo em farmácias que foi acrescida durante o desenvolver do trabalho, sobre a aquisição de protetores solares pela população, isso demonstra que mesmo não tendo campanhas locais sobre a importância de se proteger a população conhece e faz o uso dessa proteção.

O protótipo alcançou o objetivo proposto, passou por testes com o uso de luz ultravioleta acendendo os leds de acordo com a aproximação, indo do verde ao vermelho, realizando a leitura e a indicação conforme o nível de radiação apresentado, assim como, ao ar livre captando a luz solar pelo sensor UV.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados apresentados e a viabilidade do produto elaborado, espera-se que o equipamento possa ser implementado em locais públicos contribuindo para a população nos cuidados que devem ter com relação à exposição solar, por meio de parcerias, visto que este se demonstra grande inovação.

Outro ponto que vale salientar é a importância de haver o desenvolvimento de campanhas de prevenção ao câncer de pele, ratificando sobre o uso dos protetores solares e o tempo de exposição aos raios solares, pois, a prevenção é o melhor caminho na contribuição da mitigação da doença.

Conclui-se que houve imensa contribuição no incentivo à pesquisa científica no âmbito escolar da rede pública de ensino, ressaltando que mesmo com tantas dificuldades e contextos diferentes, é possível os estudantes serem protagonistas, trabalharem colaborativamente, respeitando a diversidade e desenvolverem a alfabetização científica.

REFERÊNCIAS

CORRÊA, M.; PLANA-FATTORI, A. Uma análise das variações do índice ultravioleta em relação às observações de conteúdo de ozônio e da espessura óptica dos aerossóis sobre a cidade de São Paulo. **Revista Brasileira De Meteorologia**, 21, 24–32. 2006. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001532872>. Acessado em: Dez. 2022.

FIOLETOV, V. **Ozone climatology, trends, and substances that control ozone**. Atmosphere-Ocean, Taylor & Francis, v. 46, 39-67. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.3137/ao.460103>. Acessado em: Abr. 2023.

GROFF, A. A. **O Tambaqui (*Colossoma macropomum*) e o Pirarucu (*Arapaima gigas*) como organismos bioindicadores do efeito genotóxico da radiação ultravioleta (UVA e UVB)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro de Biotecnologia de Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação de Biologia Celular e Molecular, p. 1-77, 2008. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/15487/000678232.pdf?sequence=1>. Acessado: Abr. 2023.

KARAGAS, M. R. *et al.* Risk of subsequent Basal Cell Carcinoma and Squamous CeU Carcinoma of the Skin Among Patients with Prior Skin Cancer, Skin Cancer Prevention Study Group. **JAMA**. 1992 Jun 24; 267(24):3305-3310. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1597912/>. Acessado em: Mar. 2023.

LOPES, G. L.; SOUSA, F. C.; LIBERA, L. S. D. Efeitos Biológicos da Radiação Ultravioleta e seu papel na Carcinogênese de pele: Uma Revisão. **REFACER**, v. 6, n. 2, 2017. ISSN – 2317-1367. Disponível em: <http://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/refacer/article/view/3327>. Acessado em: Mar. 2023.

MARENCO, J. A. **Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil**. Rio de Janeiro: Dagma Comunicação. 76 p., 2009. Disponível em: http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf. Acessado em: Abr. 2023.

MENDONÇA, F. Aquecimento global de saúde: uma perspectiva geográfica – notas introdutórias. **Terra livre**, ano 19, v. 1, n. 20, São Paulo, p. 205-221, jan./jul. 2003. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/index.php/terralivre/article/view/184>. Acessado em: Jan. 2023.

PBMC, 2014a: **Base científica das mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T., Araújo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 pp.

ROSENZWEIG *et al.* **ARC3.2 Summary for City Leaders. Urban Climate Change Research Network.** Columbia University. New York, 2015.

SALBY, M. L. **Fundamentals of Atmospheric Physics.** [S.L.]: Elsevier, 1996. Salby, M. L. Involvement of The Brewer–Dobson circulation in changes of stratospheric temperature and ozone. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 44, 143-164. Disponível em: <http://users.df.uba.ar/llamedo/compartido/Salby.pdf>. Acessado em: Dez. 2022.

SILVA, A. C. **Meio ambiente e saúde humana: variabilidade temporal da radiação ultravioleta e epidemiologia do câncer de pele na região Oeste do Estado de São Paulo - Presidente Prudente: Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2007. Disponível em: <https://acervodigital.unesp.br/handle/11449/96765>. Acessado em: Jan. 2023.**

CAPÍTULO 13

NORMA DE DESEMPENHO: NBR 15.575 E SUA UTILIZAÇÃO EM OBRAS DE PEQUENO E MÉDIO PORTE

Guilherme Monteiro Coelho
Felipe da Cruz Dias

RESUMO

A norma de desempenho que teve sua vigência iniciada em 2013 tem grande importância para o desenvolvimento e melhoria do mercado de construção civil, entretanto ela tem sido pouco utilizada pelos engenheiros que não necessitam de ajuda de financeiras, por isso, muitas casas no Brasil não são construídas com base na NBR 15.575, além de ser muito complexa e ter sido implementada por completo a partir da sua publicação muitas empresas têm encontrado dificuldades principalmente na parte térmica e isso se torna mais difícil para os engenheiros autônomos que trabalham sozinhos, pois muito do tempo que ele estaria tentando compatibilizar a obra com a norma ele utiliza fazendo outras coisas e acaba desistindo de utilizá-la, principalmente pela dificuldade de informações dos materiais e pela falta de valor agregado a utilização desta, já que não existe nenhuma certificação ao compatibilizar as casas com a norma.

PALAVRAS-CHAVE: Norma. NBR 15.575. Engenharia. Desempenho. Implementação. Engenheiro Autônomo.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, desde 2013 entrou em vigor a norma NBR 15.575, de título Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais e tem gerado controvérsias no setor da construção civil, tendo em vista a complexidade das questões que envolvem o conceito de desempenho e tudo a que ele está relacionado. (ASBEA)

Esta norma, primeiramente seria publicada em 2009, porém com as críticas contundentes dos impactados de sua implementação, foi necessária uma reformulação adiando a sua publicação para 2013. Entretanto, o país está levemente atrasado se comparado com alguns outros países que têm normas implementadas como o CTE na Espanha e outros países na Europa como Dinamarca e Irlanda (KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014).

O objetivo deste trabalho é demonstrar, a partir de revisão bibliográfica e entrevistas respondidas por engenheiros e arquitetos atuantes de modo autônomo, que a NBR 15.575, mesmo tendo gerado um aumento de qualidade, ainda não foi absorvida por todas as áreas da construção civil, sendo aplicada somente em pequenos nichos, principalmente pela dificuldade de compressão por profissionais. Mesmo em empresas já estabelecidas pelo país, encontram-se dificuldades nos parâmetros utilizados na Norma, ambiguidades geradas quando comparadas com outras normas, principalmente na parte de conforto térmico, falta de incentivos para

implementação da mesma e principalmente pelo método de implementação utilizado pelo governo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho utilizou como metodologia principal a revisão bibliográfica de artigos científicos, além de utilizar de formulário para entender quantos engenheiros e arquitetos fazem uso desta norma e como estes profissionais a utilizam, além da dificuldade de sua utilização. A aplicação dos questionários permitiu a verificação do conhecimento da norma bem como a sua possível implementação.

Os questionários contam com 10 questões, sendo elas para determinação do perfil da pessoa que responderia, determinar o conhecimento da utilização da norma e sugestões para melhoria da mesma. Essas perguntas são:

1. Área de formação;
2. Quantos anos de experiência na área de construção civil você tem?
3. Qual a sua ocupação?
4. Você conhece a NBR 15.575?
5. Você utiliza a norma de desempenho NBR 15.575 em seus projetos e/ou obras?
 - a. Se sim, qual a importância da NBR 15.575 para seus projetos e/ou obras?
 - b. Se não, qual o motivo que te impede de utilizá-la?
6. Como você vê a utilização da norma de desempenho no mercado da construção civil?
7. Você acha que os fornecedores de materiais oferecem informações suficientes sobre o desempenho e eficiência dos materiais que você já utilizou em obras?
8. Na sua opinião, como fazer para que essa norma esteja mais presente nas obras pelo Brasil?

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A norma NBR 15575

A norma trata do desempenho das construções e habitações, independentemente da quantidade de pavimentos. ela é uma norma descritiva que exemplifica o que a obra deve atender para que tenha o desempenho classificado em mínimo, intermediário ou superior, esse valor não é específico para nenhum sistema construtivo, mas elaborado para utilização em todos. O resultado final é melhorar as necessidades dos utilizantes, as quais, se traduzem nos seguintes tópicos: (a) segurança que inclui segurança estrutural, contra fogo, no uso e na operação; (b) habitabilidade que inclui estanqueidade, desempenho térmico, acústico e

lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade, acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico; e (c) sustentabilidade que inclui durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental. Ela é formada por seis partes. Na parte 1, se disserta sobre os requisitos gerais e são estabelecidas as exigências de desempenho com relação aos aspectos acima citados. Nas partes, sistemas estruturais (parte 2); sistemas de pisos (parte 3); sistemas de vedações verticais internas e externas (parte 4); sistemas de coberturas (parte 5); e sistemas hidrossanitários (parte 6) são apresentados os critérios específicos para os sistemas que fazem parte da edificação. (SILVA *et al.*, 214).

3.2 Normas de desempenho pelo mundo e sua implementação no Brasil

De acordo com Cantalapiedra, Bosch e López (2006), na década de 90, países de primeiro mundo como Holanda, Dinamarca e Espanha passaram a adotar critérios para avaliar o desempenho dos edifícios em relação ao consumo de energia. Desde 1992, edifícios comerciais de grande porte construídos na Dinamarca necessitam, obrigatoriamente, de um sistema de avaliação de energia, bastante abrangente e relativamente caro.

Já no século 20, na União Européia (UE) foi criada a Rede Temática Performance Based Building, ou Construção Baseada no Desempenho (PeBBu) para Reunir todos os trabalhos anteriores sobre o assunto desempenho (SZIGETI; DAVIS, 2005). Após isso, foram implementadas várias normas diretivas sobre a padronização das normas técnicas, entre essas, destacam-se os Eurocódigos, desenvolvidos pelo Comitê Europeu de Normalização. Estes códigos tratam de diversas especificações técnicas que devem ser seguidas no projeto de edifícios e obras de engenharia civil (GARCÍA, 2006; CALDENTEY *et al.*, 2008).

Com essas informações percebe-se que o mundo moderno se preocupa com o desempenho na construção civil, muitos anos antes de surgir uma norma e isso deve-se a vários motivos, entre eles, competição no mercado, maior cobrança do cliente e necessidade de melhorias e segurança.

Mesmo vigente, a norma NBR 15575 apresenta grandes problemas na parte técnica Santos (2017) evidencia que participantes de grandes empreendimentos e construtoras têm pouco conhecimento técnico e também gerenciais para garantir o desempenho necessário em seus projetos. Este fato, ao se considerar grandes construtoras, já presume o grau de desinformação e baixa utilização da norma, agravando-se ainda mais quando se trata de pequenas construtoras e profissionais autônomos do ramo da construção civil.

Mesmo que a norma de desempenho esteja presente na maior parte das fases construtivas de um empreendimento, apresentam falta de detalhamento sobre os critérios exigidos. Por esse motivo se faz necessário uma revisão das normas, abrangendo mais detalhes quanto aos requisitos e critérios, pois as tecnologias construtivas utilizadas no Brasil e os participantes do meio, principalmente os fornecedores, não são atualmente, preparados para cumprir com as exigências desta norma, principalmente por falta de exposição minuciosa nas informações (COSTELLA; FABIANO *et al.*, 2017).

Santos *et al.* (2016) diz que é frequente que os detalhamentos das especificações de materiais, principalmente para revestimentos e acabamentos, sejam feitos pelas equipes de suprimentos das empresas, normalmente com uma necessidade diferente de apresentação do produto e mais preocupadas com aspectos de custo ou especificação de pontos do que para a área técnica de desempenho não são de relevância. com a ausência dessa informação existe uma barreira para a garantia do desempenho, além de que, poucos são os incentivos para os intervenientes, mesmo que o custo dos materiais tenha aumento pela necessidade de alteração nas embalagens e análise em laboratórios para atender as necessidades geradas pelas normas, não se encontra por exemplo um desconto na parte fiscal.

Além dos problemas já citados, também é necessário citar o pouco incentivo do governo para as obras tentarem utilizar a norma de desempenho, que ao contrário de outras como a ISO 9000, não se entrega certificados e cujo maior incentivo seria o financeiro, uma vez que alguns bancos para liberar um financiamento solicita que a obra esteja em conformidade com a norma (KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014) No Brasil os incentivos do governo para utilização desta norma são poucos pois não existe nenhum programa oficial de incentivos para fornecedores se adaptarem à NBR 15.575/2013, e os que existem não estão relacionados com a norma e são concentrados principalmente por meio do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), os programas de certificação de produtos (selo PROCEL) e para edificações (PROCEL edifica e Selo Casa Azul da CAIXA) (KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014).

Além do baixo incentivo, o método de implementação da norma, que se divide em 5 partes e 312 páginas a partir de sua data de publicação, passa a vigorar sem que se tenha tempo para os profissionais e a indústria se adaptarem às mudanças geradas em vários aspectos. Um processo de implementação com bastante sucesso foi o do Código Técnico de Edificações (CTE), implementado na Espanha e que seguiu uma implantação gradual (KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A literatura atual deixa em evidência grandes ambiguidades em relação a NBR 15.575, já que esta não se encontra em igualdade com as normas anteriores sobre o mesmo tema, isso fica evidente nos textos relacionados a equilíbrio térmico já que existem muitos problemas com as referências solicitadas pela norma que geram grande variabilidade e assim casas com baixo desempenho são aprovadas além disso os valores podem ser coletados de forma que ter uma taxa de aprovação maior do que as normas anteriores se torne mais fácil.

Além disso, existem vários problemas com os fornecedores de matérias que não disponibilizam as informações necessárias para o desempenho que a norma cobra pois estes, mais uma vez, não têm os benefícios fiscais para que se tenha um retorno no seu produto, adicionalmente, os custos aumentados para que o fornecedor faça os testes laboratoriais necessários torna muito difícil para que os construtores autônomos consigam atender da norma.

Por isso, fica evidente as dificuldades encontradas no processo de projetos e gerenciamento de obras, que além de se debruçar sobre a norma e tentar entender todas as suas solicitações, não encontram muitos incentivos para que esta seja aplicadas em obras particulares, pois além de aumentar o tempo na área do projeto não existe certificações ou qualquer outro prestígio que auxilia na valorização dos imóveis que tiverem utilizando essa norma, sendo assim, da parte de lucro em relação a venda de imóveis isso acaba se tornando algo não importante para a maioria dos projetistas autônomos.

Entretanto é necessário citar o quanto fica evidente o avanço na melhoria da qualidade de obras que utilizam desta norma, tornando o mercado mais competitivo, trazendo em retorno a satisfação do cliente e com a melhoria dos dados que as construtoras recebem em retorno pode se ter uma empresa que normalmente se encontram em constante evolução pois as respostas geradas pelos clientes vão melhorando os métodos e práticas das pessoas que entram em contato com essa norma

5. RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS APLICADOS

Durante um mês foi realizado o envio de um questionário online utilizando a plataforma Google Forms, a profissionais da área de engenharia e arquitetura, durante 15 (quinze) desses 30 (trinta) dias, foi realizada o envio para pessoas da sociedade civil, após esse período foram analisadas 10 (dez) respostas no questionário, entre elas 9 (nove) de pessoas relacionadas a construção civil e uma de pessoa da sociedade civil, mesmo que uma amostra pequena, após

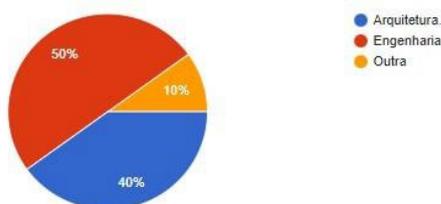
esse período, foi possível fazer uma análise sobre como alguns grupos veem a utilização da norma e seus aspectos perante a opinião destes.

Foram elaboradas 10 (dez) perguntas, as 3 (três) primeiras com o objetivo de conhecer a área de atuação (Engenharia, Arquitetura ou Outros), o tempo de atuação no mercado, e a ocupação (se eram pessoas físicas, jurídicas, autônomos, servidores públicos e ou estagiários) e as outras 7 (sete) perguntas análises individuais sobre a NBR 15.575.

A partir das respostas foram trabalhadas e analisadas e transformadas em tabela, além de criados os gráficos para que se entenda com a respostas adquiridas a influência da norma em um grupo da sociedade civil.

A maioria dos respondentes, embora não seja uma diferença significativa, é de profissionais de engenharia (figura 01).

Figura 01: Área de formação do respondente.

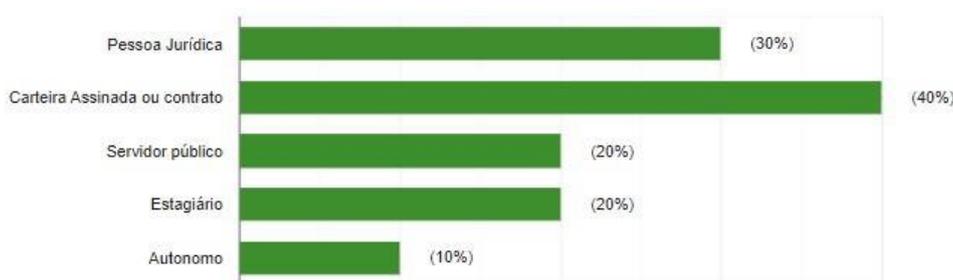


Fonte: Autoria própria (2022).

Cerca de 70% dos profissionais estão vinculados a empresas ou algum empregador (Figura 02).

Figura 02: Regime de contratação.

Qual a sua ocupação? (marque mais de uma se necessário)

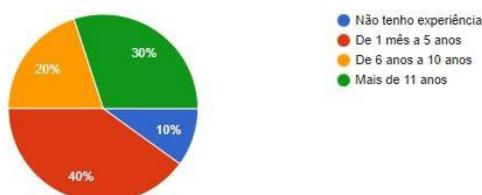


Fonte: Autoria própria (2022).

Entre os profissionais 90% tem algum contato com o mercado da construção civil, e 50% tem mais de 6 anos de experiência (figura 03).

Figura 03: Tempo de experiência na construção civil.

Quantos anos de experiência na área de construção civil você tem?

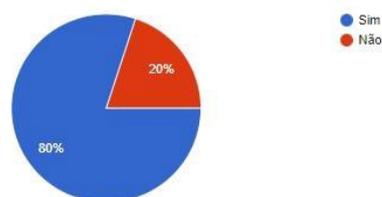


Fonte: Autoria própria (2022).

Mais de 80% tinha algum conhecimento sobre a NBR 15.575, demonstrando que a norma já está em circulação no meio da construção civil (figura 04).

Figura 04: Conhecimento da NBR 15.575.

Você conhece a NBR 15.575 ?

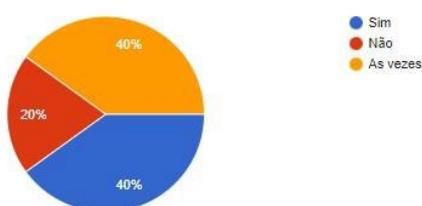


Fonte: Autoria própria (2022).

Cerca de 80% utilizam a norma em seus projetos e obras, sendo que não necessariamente esteja presente em todos os projetos (figura 05).

Figura 05: Utilização da NBR 15.575.

Você utiliza a norma de desempenho NBR 15.575 em seus projetos e/ou obras?

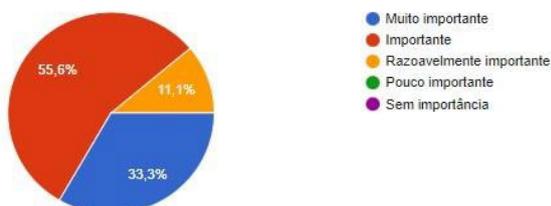


Fonte: Autoria própria (2022).

Aproximadamente 89% dos que utilizam a norma acreditam que ela seja importante ou muito importante para seus projetos (figura 06).

Figura 06: Importância da NBR 15.575 (em caso de utilização).

Se sim, qual a importância da NBR 15.575 para seus projetos e/ou obras?



Fonte: Autoria própria (2022).

Cerca de 20% dos que utilizam admitem não utilizar por não haver retornos, demonstrando a necessidade de utilização de certificados ou benefícios para maior presença das normas nas casas a se construir (figura 07).

Figura 07: Motivo para não-utilização da NBR 15.575

Se não, qual o motivo que te impede de utiliza-la?



Fonte: Autoria própria (2022).

Todas as pessoas que responderam consideram a norma importante ou muito importante mesmo que algumas delas não a utilizem (figura 08).

Figura 08: Percepção sobre a utilização da NBR 15.575.

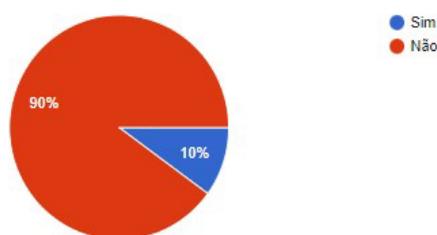
Como você vê a utilização da norma de desempenho no mercado da construção civil?



Fonte: Autoria própria (2022).

Em sua grande maioria os respondentes acreditam que os fornecedores não divulgam informações suficientes dos materiais para classificação de desempenho, o que torna mais difícil a análise do desempenho da obra em geral. (figura 09).

Figura 09: Percepção sobre os fornecedores de materiais.
Você acha que os fornecedores de materiais oferecem informações suficientes sobre o desempenho e eficiência dos materiais que você já utilizou em obras?



Fonte: Autoria própria (2022).

A pergunta final (ou pergunta 10) teve o seguinte enunciado: Na sua opinião, como fazer para que essa norma esteja mais presente nas obras pelo Brasil, e foram respondidas da seguinte forma:

- 1- Mais divulgação da importância da utilização;
- 2- Políticas de explicação, e demonstração de resultados mais eficazes;
- 3- Criar regulamentos mais específicos e conseqüentemente mais matérias obrigatórias nas graduações;
- 4- Mais divulgação;
- 5- Tornar algo de conhecimento mais público, já que grande parte das construções realizadas de pequeno e médio porte são realizadas sem a contratação de engenheiro e/ou arquiteto e com isso mostrar sua importância e benefício;
- 6- Primeiramente ser menos complexa em questão de apresentação, apresentar soluções de implementação em materiais sem onera-los , e ensinar as categorias sobre sua importância, não só quanto normativa, mas quanto a eficiência;
- 7- Fiscalização e multas pesadas;
- 8- Ampliar os programas de qualidade de materiais de construção civil (PBQP-H) a fim de mudar a cultura e forçar o mercado a prezar pela qualidade dos materiais.

Após a análise das respostas foi encontrada corroboração das informações estudadas nas referências bibliográficas entre elas o fato de que mesmo 80% das pessoas conhecendo a norma, 50% dessas não utilizam esta norma ou utilizam as vezes, destes que conhecem a norma, 100% acreditam que os fornecedores de materiais não disponibilizam informações suficientes sobre seus produtos para que se possa escolher os que melhor se adequem ao projeto quando

utilizando a norma, outro fato importante, quando se analisa aqueles que têm menos de 5 anos de experiência, 50% não tem conhecimento da norma o que demonstra a necessidade de que a grade curricular das faculdades inclua esta norma.

Em um dos campos de respostas foi solicitado que eles citassem como melhorar a utilização das normas, das 8 (oito) pessoas que responderam esse campo, 4 (quatro) citaram em algum momento a necessidade de uma explicação melhor da norma e ou uma demonstração melhor dos seus benefícios.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A norma de desempenho mesmo que necessária, importante e utilizada em vários países com nomenclaturas diferentes, chegou ao Brasil com muitas ambiguidades, entre elas o choque de informações em comparação com outras normas já estabelecidas no mercado, falta de políticas públicas para sua divulgação, ausência de tempo para o mercado se acostumar com as informações, difícil explicação para os clientes dos seus benefícios em comparação com o aumento dos gastos e escassez de conteúdo disponibilizado pelos fornecedores sobre os materiais.

Após seis anos a norma de desempenho ainda é pouco utilizada no Brasil quando se trata de obras de pequeno e médio porte, sem a utilização de financiamentos, seja pela falta de informações, pelo pouco retorno devido a falta de certificações e ou pela quantidade de construções sem o acompanhamento de engenheiros e arquitetos. Esta falta de utilização faz com que a norma não alcance os objetivos de definir um padrão mínimo para as construções no Brasil.

Assim, são necessária diversas alterações na própria norma aprovada em congresso para que se tenha uma padronização entre as normas da construção civil já existentes, a possibilidade de criação de certificações de desempenho para agregar valor às obras, maior investimento dos fornecedores nas informações divulgadas sobre os materiais e políticas públicas de explicação e apresentação da norma para que assim todos os engenheiros consigam desenvolver projetos e construções com qualidades melhores e assim a sociedade como um todo ser beneficiada com uma melhor qualidade de vida.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.575-2: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os Sistemas Estruturais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.575-3: 2013, Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os Sistemas de Pisos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.575-4: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais internas e externas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.575-5: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para os Sistemas de Coberturas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.575-6: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para os Sistemas Hidrossanitários**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA - ASBEA. **Guia para arquitetos na aplicação da norma de desempenho abnt NBR 15.575. 2022**. Disponível em <<https://www.asbea.org.br/wp-content/uploads/2022/07/normas-de-desempenho.pdf>>. Acessado em: Out. 2022.

AZLAN, S. A.; RAHMAT, I. The performance measurement of construction projects managed by ISO-certified contractors in Malaysia, Macmillan Publishers Ltd. 1479–1110. **Journal of Retail & Leisure Property**, Vol. 9, 1, 25–35, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1057/rlp.2009.20>. Acessado em: Mar. 2022.

CANTALAPIEDRA, I. R.; BOSCH, M.; LÓPEZ, F. Involvement of final architecture diploma projects in the analysis of the UPC buildings energy performance as a way of teaching practical sustainability. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 14, 101 n. 9, p. 958-962, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.040>. Acessado em: Mar. 2022.

CHVATAL, K. M. S. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 119-134, out./dez. 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000400009>. Acessado em: Abr. 2022.

COSTA, A.; TOLEDO, A. **A gestão do processo de projetos e desenvolvimento em construtoras alagoanas**, Maceió nov. 2014. Disponível em: <http://doi.org/10.17012/entac2014.68>. Acessado em: Abr. 2022.

COSTELLA, M. F. *et al.* **Avaliação da aplicação da norma de desempenho: estudo de caso em cinco empreendimentos.** *Revista de Engenharia Civil IMED*, Passo Fundo, v. 4, n. 2, p. 55-74, dez. 2017. ISSN 2358-6508. Disponível em: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2017.v4i2.2256>. Acessado em: Dez. 2021.

COTTA, A. C.; ANDERY, P. R. P. As alterações no processo de projeto das empresas construtoras e incorporadoras devido à NBR 15575 – Norma de Desempenho. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 133-152, jan./mar. 2018. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000100213>. Acessado em: Mar. 2022.

GARCÍA, F. H. **Normalización europea en productos de construcción: construcciones especiales y dragados.** Proyectos Singulares S. A., 2006.

KERN, A. P.; SILVA, A.; KAZMIERCZAK, C. S. **O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575/2013).** *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 89-101, jan./jun. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v9i1.89989>. Acessado em: Mar. 2022.

MORAIS, G. A. T.; LORDSLEEM JUNIOR., A. C.; ANDERY, P. R. P. Implementação da norma de desempenho NBR 15575:2013: estudo de caso em Recife/PE. **Gestão & Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v. 16, n. 2, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/gtp.v16i2.167683>. Acessado em: Mar. 2022.

QUEIROZ, F. D. V.; CARNEIRO, A. G. roteiro de implementação de um sistema de gestão de qualidade em construtoras de pequeno e médio porte. **UNINGÁ Review**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 195-214, out./dez. 2017. Disponível em: <https://revista.uninga.br/uningareviews/article/download/132/440/2141>. Acessado em: Mar. 2022.

SANTOS, D. G. *et al.* Desempenho de Edificações Residenciais: projetistas e empresas construtoras. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 16., São Paulo, 2016. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

SANTOS, F. M. **Impactos da Aplicação da ABNT NBR 15575/2013 na Manutenção de Edificações.** Juiz de Fora, 2017. 214 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

SILVA, A. S. *et al.* Incerteza do método de simulação da NBR 15575-1 para a avaliação do desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 103-117, out./dez. 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000400008>. Acessado em: Mar. 2022.

TAKIM, R.; AKINTOYE, A. Performance indicators for successful construction project performance. In: GREENWOOD, D (Ed.), **18th Annual ARCOM Conference**, 2-4 September 2002, University of Northumbria. Association of Researchers in Construction Management, Vol. 2, 545-555 Disponível em: https://www.arcom.ac.uk/-docs/proceedings/ar2002-545-555_Takim_and_Akintoye.pdf. Acessado em: Abr. 2022.



www.editorapublicar.com.br



contato@editorapublicar.com.br



[@epublicar](https://www.instagram.com/epublicar)



facebook.com.br/epublicar

TECNOLOGIAS
AVANÇADAS EM

CIÊNCIAS EXATAS:

Desenvolvimentos recentes
e perspectivas futuras

MILSON DOS SANTOS BARBOSA

RAFAEL LEAL DA SILVA

ROGER GOULART MELLO

Organização



2023



www.editorapublicar.com.br



contato@editorapublicar.com.br



[@epublicar](https://www.instagram.com/epublicar)



facebook.com.br/epublicar

TECNOLOGIAS
AVANÇADAS EM
CIÊNCIAS EXATAS:

**Desenvolvimentos recentes
e perspectivas futuras**

MILSON DOS SANTOS BARBOSA

RAFAEL LEAL DA SILVA

ROGER GOULART MELLO

Organização



2023