

EDUARDO CESAR AMANCIO
(ORGANIZADOR)



ENGENHARIAS:

DESENVOLVIMENTO DE
PROCESSOS E PRODUTOS

2


Atena
Editora
Ano 2023

EDUARDO CESAR AMANCIO
(ORGANIZADOR)



ENGENHARIAS:

DESENVOLVIMENTO DE
PROCESSOS E PRODUTOS

2


Atena
Editora
Ano 2023

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

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

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

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

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

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

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Eduardo Cesar Amancio

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E57	Engenharias: desenvolvimento de processos e produtos 2 / Organizador Eduardo Cesar Amancio. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-1463-6 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.636233105 1. Engenharia. I. Amancio, Eduardo Cesar (Organizador). II. Título. CDD 620
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

A coleção “Engenharias: Desenvolvimento de processos e produtos 2” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica por intermédio de trabalhos diversos que compõe seus capítulos. O volume abordará de forma categorizada e interdisciplinar trabalhos, pesquisas, relatos de casos e/ou revisões que transitam nos vários caminhos das Engenharias e áreas afins.

A atual necessidade de informações e conhecimento de maneira rápida e eficiente leva a uma demanda de processos e produtos mais eficaz. Neste cenário destaca-se o campo das engenharias, as quais são um dos principais pilares para o setor industrial. Entender os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria dessa desta área é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos, ferramentas, procedimentos e diretrizes para melhoria contínua de processos.

O aumento no interesse aos temas relacionados com a engenharia se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de engenharia, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Deste modo a obra “Engenharias: Desenvolvimento de processos e produtos 2” apresenta uma teoria bem fundamentada nos resultados práticos obtidos pelos diversos professores e acadêmicos que arduamente desenvolveram seus trabalhos que aqui serão apresentados de maneira concisa e didática. Sabemos o quão importante é a divulgação científica, por isso evidenciamos também a estrutura da Atena Editora capaz de oferecer uma plataforma consolidada e confiável para estes pesquisadores exporem e divulguem seus resultados.

Eduardo Cesar Amancio

CAPÍTULO 1 1

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO DIÂMETRO MÉDIO DA BOLHA NA TAXA DE CISLHAMENTO MÉDIA DE UMA COLUNA DE BOLHAS ATRAVÉS DA FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL

Ana Carolina Borges Silva

Mateus Nordi Esperança

Alberto C. Badino

Rodrigo Béttega

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6362331051>

CAPÍTULO 2 10

ANÁLISE ENERGÉTICA PREDIAL ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Guilherme Antonio dos Santos

Lucas Francisco Rodrigues

Maria Thereza de Moraes Gomes Rosa

Miriam Trvrská de Gouvêa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6362331052>

CAPÍTULO 325

DESAFIOS TECNOLÓGICOS DO APROVEITAMENTO DO MINÉRIO DE FERRO DE GRÃO MOGOL/MG

Ana Carolina Lisboa Bastos

André Luiz Alves da Silva

Marcos Júnio Alves dos Santos

Maria Cecília Nogueira Teles Oliveira

Raíssa Lóren de Oliveira Fernandes

Sergio Eduardo Rodrigues Costa

Jônatas Franco Campos da Mata

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6362331053>

CAPÍTULO 438

DESENVOLVIMENTO DE EMULSÕES FITOTERÁPICAS À BASE DE ÓLEOS VEGETAIS AMAZÔNICOS PARA POTENCIAL USO COMO BIOMATERIAL CUTÂNEO

Caio Augusto de Almeida Canelas

Ailime Lobato Picanço de Melo

Tainara de Paula de Lima Lima

Viktor Oswaldo Cárdenas Concha

Ana Paula Drummond Rodrigues de Farias

Marcele Fonseca Passos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6362331054>

CAPÍTULO 5 51

ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO, FUNDAMENTOS, CONCEITOS, TENDÊNCIAS E UM CASO DE RISCO REAL NO ENSINO DE

ELETRÔNICA

Márcio Mendonça
 Ronie Ribeiro Camargo
 Carolina Ribeiro Rodrigues
 Janaína Fracaro de Souza Gonçalves
 Andressa Haiduk
 Rodrigo Rodrigues Sumar
 Ricardo Breganon
 Vicente de Lima Gongora
 Edinei Aparecido Furquim dos Santos
 Fábio Nogueira de Queiroz
 Renato Augusto Pereira Lima
 Wagner Fontes Godoy
 Kazuyochi Ota Junior
 Andre Luis Shiguemoto
 Francisco de Assis Scannavino Junior
 José Augusto Fabri
 Jancer Frank Zanini Destro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6362331055>

CAPÍTULO 663

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO INDICADOR TAXA DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES DE TRABALHO EM UMA EMPRESA DE MOLDURAS DE MADEIRA E SUA RELAÇÃO COM A MUDANÇA NA CULTURA DE SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO

Tiago Machado e Silva
 Jomar Berton Junior
 João Bernardo Aranha Ribeiro
 Edson Machado e Silva Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6362331056>

CAPÍTULO 774

ESTUDO DA APLICAÇÃO DE CAMADA POROSA DE ATRITO (CPA) PARA A DRENAGEM DE PAVIMENTO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Leonardo de Oliveira Tiotonio
 Bruno Guida Gouveia
 Marina Donato
 Leandro da Rocha Vaz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6362331057>

CAPÍTULO 883

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO DO SORO DO LEITE POR ULTRAFILTRAÇÃO, UTILIZANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Vinicius Holz Boemeke
 Régis da Silva Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6362331058>

CAPÍTULO 995

MODELO GEOMECÂNICO CONCEITUAL PARA REATIVAÇÃO DE FALHAS EM RESERVATÓRIOS DE CAMPOS OFFSHORE

Elias Enes de Oliveira
Geraldo de Souza Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6362331059>

CAPÍTULO 10..... 104

MODELOS DE REGRESSÃO LOGÍSTICA ORDINAL USANDO SOFTWARE LIVRE: UMA APLICAÇÃO À SATISFAÇÃO DO TURISTA EM ACAPULCO, GUERRERO

Octaviano Juárez Romero
Santiago Marquina Benítez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.63623310510>

CAPÍTULO 11116

NTFS: ELUCIDAÇÕES INTRODUTÓRIAS DE SISTEMA DE ARQUIVOS

José Gleisson da Costa Germano
José Wally Mendonça Menezes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.63623310511>

CAPÍTULO 12..... 123

O MÉTODO PROMÉTHÉE NO APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO

Marcos Vinicius Passarini de Almeida
Luis Alberto Duncan Rangel

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.63623310512>

CAPÍTULO 13..... 136

PROPUESTA DE UN TREN DE ALTA VELOCIDAD EN MÉXICO

Luis Rocha Chiu
V́ctor Jiménez Argüelles
Luis Fernando Casales Hernández

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.63623310513>

CAPÍTULO 14..... 152

FORMALISMO DE CIDADES INTELIGENTES COM UMA INSTANCIAÇÃO EMPREGANDO ROBÓTICA COMO AVANÇO TECNOLÓGICO

Márcio Mendonça
Emanuel Ignacio Garcia
Fabio Rodrigo Milanez
Matheus Gil Bovolenta
Rodrigo Rodrigues Sumar
André Luis Shiguemoto
Vicente de Lima Gongora
Marcio Aurélio Furtado Montezuma

Janaína Fracaro de Souza Gonçalves
 Francisco de Assis Scannavino Junior
 Wesley Candido da Silva
 Carlos Alberto Paschoalino
 Emerson Ravazzi Pires da Silva
 Kleber Romero Felizardo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.63623310514>

CAPÍTULO 15..... 163

SÍNTESE DA CAULINITA PIROFOSFATO PARA INTERCALAÇÃO DE VITAMINA B1 VISANDO APLICAÇÃO COMO SUPLEMENTO VITAMÍNICO

Andriéli Corrêa de Aquino
 Cintia Hisano
 Graciele Vieira Barbosa
 Alberto Adriano Cavalheiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.63623310515>

CAPÍTULO 16..... 176

TECNOLOGIA SUPERCRÍTICA APLICADA A EXTRAÇÃO DE PRODUTOS NATURAIS

Kelly Roberta Pinheiro Pantoja
 Diana das Graças de Oliveira Henriques
 Veronica Maria Souza Bezerra
 Rayelle Mendonça Moraes
 Nayara Janaina Neves da Silva
 Eduardo Gama Ortiz Menezes
 Raul Nunes de Carvalho Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.63623310516>

CAPÍTULO 17..... 189

UM ESTUDO SOBRE A PERCEPÇÃO DE SEGURANÇA QUE AS LEIS DIGITAIS EXERCEM SOBRE USUÁRIOS DE SERVIÇOS E PRODUTOS DIGITAIS

Nathan Novais Borges
 Fabio Silva Lopes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.63623310517>

SOBRE O ORGANIZADOR.....208

ÍNDICE REMISSIVO.....209

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO DIÂMETRO MÉDIO DA BOLHA NA TAXA DE CISALHAMENTO MÉDIA DE UMA COLUNA DE BOLHAS ATRAVÉS DA FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL

Data de aceite: 02/05/2023

Ana Carolina Borges Silva

Universidade Federal de São Carlos,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Química Departamento de
Engenharia Química

Mateus Nordi Esperança

Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia de São Paulo, Campus
Capivari

Alberto C. Badino

Universidade Federal de São Carlos,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Química Departamento de
Engenharia Química

Rodrigo Béttega

Universidade Federal de São Carlos,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Química Departamento de
Engenharia Química

RESUMO: Biorreatores pneumáticos são equipamentos amplamente utilizados na indústria por proporcionarem adequada transferência de calor e massa, rápida mistura e boa suspensão de sólidos. Neste trabalho foram avaliados numericamente por fluidodinâmica computacional, os

efeitos do diâmetro das bolhas na taxa de cisalhamento média ($\dot{\gamma}_m$) em um biorreator coluna de bolhas. Os resultados obtidos foram comparados com dados calculados por correlação semiempírica. O modelo Euleriano de dois fluidos foi aplicado nas simulações multifásicas gás-líquido para três diâmetros médios de bolha e vazões específicas de ar de 1,0 a 5,0 vvm. As simulações em que se considerou o menor diâmetro de bolha (4 mm) apresentaram os resultados com os maiores valores de $\dot{\gamma}_m$ encontrados para a maior vazão de ar específica aplicada neste estudo (5 vvm).

INTRODUÇÃO

Em bioprocessos submersos, o movimento do líquido no interior do reator, marcado por uma dada velocidade de circulação de líquido, gera turbulência no meio reacional. O diâmetro de bolha (d_b) é um parâmetro de extrema importância para a compreensão tanto dos fenômenos de transferência de massa, quanto de movimento. A formação de bolhas em sistemas gás-líquido sofre a influência das condições operacionais (vazão de gás,

temperatura e pressão), geometria do equipamento (geometria do aspersor e diâmetro dos orifícios), além das propriedades físicas dos fluidos (densidade, viscosidade, propriedades reológicas, tensão superficial e polaridade). Ainda, a quebra e/ou coalescência de bolhas, que refletem diretamente no tamanho da bolha, são fenômenos que apresentam alta sensibilidade a quaisquer alterações no processo (Kulkarni e Joshi, 2005).

O tamanho da bolha influencia na transferência de massa e nos parâmetros hidrodinâmicos, como a taxa de cisalhamento média. Em simulações de escoamento multifásico, as forças interfaciais podem desempenhar um papel importante devido à transferência de momento através da interface, e isso influencia fortemente os padrões dinâmicos dos fluidos. Em colunas de bolhas, destacam-se as forças de arrasto, sustentação, dispersão turbulenta e massa virtual (Tabib *et al.*, 2008). Por essas razões, a fluidodinâmica computacional (CFD) tem sido amplamente aplicada na modelagem e simulação desses sistemas de escoamento (Ziegenhein *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2018). Neste trabalho, a retenção gasosa global e a taxa de cisalhamento média de um biorreator coluna de bolhas de seção quadrada foram avaliadas por meio de simulações por CFD e comparadas aos resultados obtidos experimentalmente e por meio de correlações semiempíricas, a fim de se comprovar a validade do modelo matemático aplicado.

METODOLOGIA

Modelagem matemática e simulação CFD

Foi analisado um biorreator de coluna de bolhas de 10 L consistindo de uma coluna de seção transversal quadrada com lados medindo 142 mm, altura total de 755 mm e altura do líquido de 510 mm contendo um aspersor tipo cruzeta de 180 orifícios instalado na base. Simulações e experimentos foram realizados utilizando água como fase líquida e ar atmosférico como fase gasosa, alimentado com vazões específicas de ar variando de 1 a 5 vvm.

O modelo Euleriano de dois fluidos foi usado na modelagem, assumindo todos os fluidos com propriedades constantes, sendo a água considerada como fase contínua ($\rho_L=997 \text{ kg.m}^{-3}$, $\mu_L=8,49.10^{-4} \text{ Pa. S}$ e $\sigma=0,072 \text{ N.m}^{-1}$) e ar como fase dispersa ($\rho_G=1,2 \text{ kg.m}^{-3}$). Para expressar as forças de arrasto e sustentação, foram adotados os modelos propostos por Grace *et al.* (1976) e Tomiyama (1998), tomando como constante a tensão superficial (σ). A turbulência foi calculada com o modelo padrão κ - ϵ , sendo utilizados os valores das constantes de $C_\mu=0,09$, $C_{\epsilon_1}=1,44$, $C_{\epsilon_2}=1,92$, $\sigma_\kappa=1$ e $\sigma_\epsilon=1,3$. A condição de contorno para a injeção de ar foi definida como a velocidade prescrita na superfície que representa os orifícios do aspersor, com valores variando de 4,57 a 22,86 m/s em cada orifício, compreendendo as vazões de ar de 1 a 5 vvm. Além disso, foi considerada pressão de saída prescrita (1 atm) no topo do biorreator e condição de não-deslizamento nas

paredes, para ambas as fases.

Um tempo de 5 segundos foi simulado nos arranjos propostos com intervalo de tempo fixo de 10^{-4} s e 25 iterações por passo de tempo. O critério de convergência adotado foi $RMS < 10^{-4}$. A configuração geral da simulação por CFD está descrita na Tabela 1. O *software* Ansys Fluent® 14.5 foi usado para resolver as equações governantes. O *hardware* utilizado consistiu em um computador equipado com um processador AMD Ryzen 7 3700x de 8 núcleos (3,59 GHz, 32 GB de RAM).

Informação	Condição usada
Modelo multifásico	Euler
Modelo de turbulência	κ - ε standart
Gravidade	9,81 m/s ²
Tensão superficial	0,072 N/m
Interpolação para Eq. Momento	Second Order Implicit
Interpolação para Eq. Fração Volumétrica	First Order Upwind
Interpolação para Eq. Energia Cinética Turbulenta	Second Order Upwind
Interpolação para Eq. Taxa Dissipação Cinética	Second Order Upwind
Regime Transiente	25 iterações/time step, time step= 10^{-4} s, 50.000-time steps, tempo simulado=5 s
Fatores de Relaxação	entre 0.5 e 1.0

Tabela 1: Modelos e parâmetros numéricos das simulações realizadas.

O biorreator, as geometrias do aspensor e a malha computacional estão ilustrados na Figura 1 e foram gerados usando as ferramentas *Design Modeler* e *Meshing*, ambas da suíte *Workbench* incluída no pacote Ansys®. Uma malha estruturada composta por elementos hexaédricos foi gerada, na qual o espaçamento mínimo entre nós foi definido como 0,5 mm na região do aspensor e 4 mm ao longo do reator. A malha apresentou valores de assimetria inferiores a 0,5 e valores de qualidade ortogonal superiores a 0,8, indicando uma boa qualidade da malha. Ainda, os elementos da malha apresentaram valores de razão de aspecto inferiores a 1,9, o que confirmou a qualidade da malha utilizada.

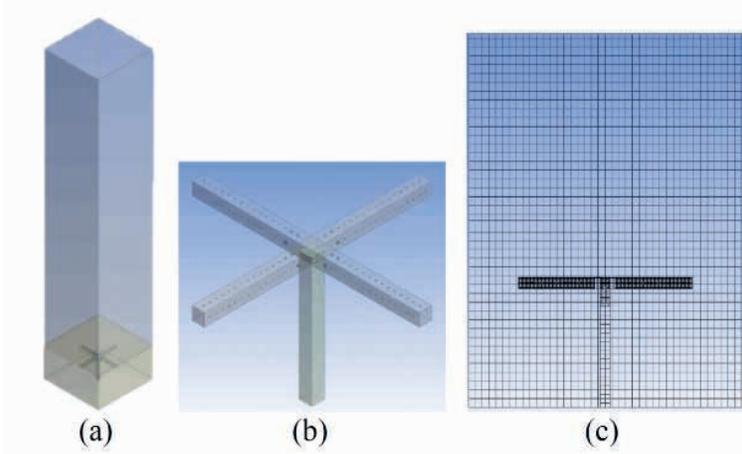


Figura 1: (a) Geometria computacional do biorreator de coluna de bolhas; (b) aspersor tipo cruzeta de 180 orifícios; (c) Detalhes da malha.

As conservações da massa e do momento para uma fase genérica i são representadas pelas Equações 1 e 2, respectivamente.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_i \cdot \rho_i) + (\alpha_i \cdot \rho_i \cdot v_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_i \cdot \rho_i \cdot v_i) + \nabla \cdot (\alpha_i (\rho_i \cdot v_i \otimes v_i)) = -\alpha_i \cdot \nabla P_i + \nabla \cdot (\alpha_i \cdot \mu_{\text{eff},i} (\nabla v_i + (\nabla v_i)^T)) + \alpha_i \cdot \rho_i \cdot g \cdot M_i \quad (2)$$

A turbulência foi modelada usando o modelo padrão k - ϵ , pois oferece resultados precisos e requer esforço computacional moderado, sendo um método estável e robusto (Rodriguez *et al.*, 2015). As equações de transporte para a energia cinética turbulenta (k) e sua taxa de dissipação (ϵ) são descritas pelas Equações 3 e 4:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_i \cdot \rho_i \cdot k_i) + \nabla \cdot (\alpha_i (\rho_i \cdot v_i \cdot k_i - (\mu_i + \frac{\mu_{t,i}}{\sigma_k}) \nabla k_i)) = \alpha_i \cdot (P_i - \rho_i \cdot \epsilon_i) \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_i \cdot \rho_i \cdot \epsilon_i) + \nabla \cdot (\alpha_i \cdot \rho_i \cdot v_i \cdot \epsilon_i - (\mu_i + \frac{\mu_{t,i}}{\sigma_\epsilon}) \nabla \epsilon_i) = \alpha_i \cdot \frac{\epsilon_i}{k_i} (C_{\epsilon 1} \cdot P_i - C_{\epsilon 2} \cdot \rho_i \cdot \epsilon_i) \quad (4)$$

sendo $C_{\epsilon 1}$, $C_{\epsilon 2}$, σ_k e σ_ϵ constantes do modelo padrão k - ϵ .

Na modelagem matemática, as forças interfaciais de arrasto e sustentação foram representadas por correlações que estimam seus coeficientes. O coeficiente de arrasto (C_D) foi estimado de acordo com a Equação 5 (Grace *et al.* (1976), que considera as diferentes formas de bolhas, como esféricas (Equação 6), touca (Equação 7) e elipses (Equação 8).

$$C_D = \max(C_D^{\text{sphere}}, \min(C_D^{\text{ell}}, C_D^{\text{cap}})) \quad (5)$$

$$C_D^{\text{sphere}} = \frac{24}{Re_b} (1 + 0.15Re_b^{0.687}) \quad (6)$$

$$C_D^{\text{cap}} = \frac{8}{3} \quad (7)$$

$$C_D^{\text{ell}} = \frac{4}{3} \frac{gd_B (\rho_L - \rho_G)}{v_{\infty}^2 \rho_L} \quad (8)$$

A força de sustentação pode ser correlacionada com a velocidade relativa e a velocidade da fase líquida, sendo expressa pela Equação 9. Esta força age lateralmente ao escoamento em objetos assimétricos, sendo que no caso das bolhas presentes em um biorreator pneumático, a força de sustentação é uma das responsáveis por movimentar as bolhas na direção radial (Rodriguez, 2015).

$$F_L = C_L \alpha_l \rho_g (\vec{v}_l - \vec{v}_g) \cdot \nabla \cdot \vec{v}_g \quad (9)$$

O coeficiente de sustentação foi estimado por meio de correlações propostas na literatura. Neste estudo, foi utilizado o coeficiente descrito pela Equação 10 (Tomiya, 1998), pois se refere a sistemas ar-água, aplicando-se a bolhas deformáveis, sendo dependente do número de Eötvos (Equação 11).

$$C_L = \begin{cases} \min[0.288 \tanh(0.121 Re_b; f(E\ddot{o}))] \\ f(E\ddot{o}) & 4 < E\ddot{o} \leq 10 \\ -0,27 & 10 < E\ddot{o} \end{cases} \quad (10)$$

$$E\ddot{o} = \frac{(\rho_L - \rho_G) g d_b^2}{\sigma} \quad (11)$$

As condições simuladas foram descritas como estudos de caso e são apresentadas na Tabela 2. Para entender a nomenclatura, o estudo de caso LF5-1, por exemplo, considera as seguintes condições $d_b=5$ mm e $\phi_{ar}=1$ vvm, respectivamente.

Caso	Diâmetro da bolha (mm)	Vazão(vvm)
LF4-1		1
LF4-3	4	3
LF4-5		5
LF5-1		1
LF5-3	5	3
LF5-5		5
LF6-1		1
LF6-3	6	3
LF6-5		5

Tabela 2: Nomenclatura dos casos simulados utilizando a fluidodinâmica computacional

Taxa de Cisalhamento Média ($\dot{\gamma}_m$)

Os valores de $\dot{\gamma}_m$ foram estimados por meio da correlação semiempírica proposta por Pérez *et al.* (2006) na qual, para reatores colunas de bolhas, a única fonte de agitação é a entrada de energia pneumática fornecida pela expansão isotérmica do gás que entra pelo aspersor. Nesta correlação P_G , k e n referem-se ao consumo de potência e aos índices de consistência e escoamento do líquido, respectivamente. Para tais casos, a taxa de cisalhamento média depende exclusivamente da velocidade superficial do gás e das propriedades reológicas do fluido, considerando os dados experimentais de retenção gasosa ($\bar{\alpha}_G$), conforme Equação 12.

$$\dot{\gamma}_m = \left(\frac{1 P_G}{K V} \right)^{\left(\frac{1}{n+1} \right)} \quad (12)$$

Os valores da taxa de cisalhamento média ($\dot{\gamma}_m$) foram também obtidos numericamente, adotando o procedimento de média de volume para a distribuição espacial da taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$) em todo o domínio computacional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das simulações em termos taxa de cisalhamento média ($\dot{\gamma}_m$) em função da vazão específica de ar (ϕ_{ar}) estão ilustrados na Figura 2 e comparados aos dados obtidos por meio da correlação semiempírica de Pérez *et al.* (2006)

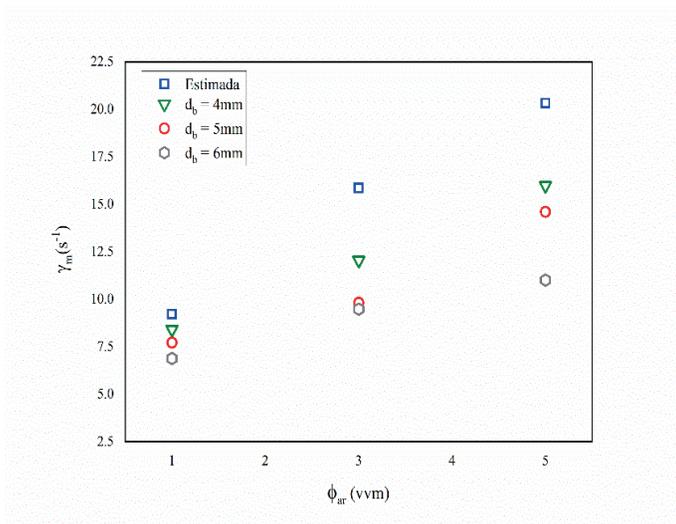


Figura 2 - Taxa de cisalhamento média ($\dot{\gamma}_m$) em função da vazão específica de ar (ϕ_{ar}).

Nas maiores vazões de alimentação de ar (3 e 5 vvm), os valores de taxa de cisalhamento média obtidos por meio de simulação foram inferiores aos valores estimados

para todos os diâmetros de bolha (4, 5 e 6 mm). Além disso, observa-se que a taxa de cisalhamento média ($\dot{\gamma}_m$) exibiu menores valores para maiores diâmetros de bolha, sendo estes valores divergentes daqueles estimados pela Equação 12, função da vazão de ar, do consumo de potência e da retenção gasosa.

Os valores encontrados para $\dot{\gamma}_m$ variaram de 9,8 a 17,2 s⁻¹ para o diâmetro de 4 mm, 8,9 a 15,7 s⁻¹ para o diâmetro de 5 mm e 7,9 a 13,2 s⁻¹ para o maior diâmetro aplicado (6 mm). Apesar do erro de previsão deste parâmetro aumentar com o aumento da vazão de ar, uma vez que os resultados do CFD levam em conta todo o volume do biorreator, eles apresentaram a mesma ordem de grandeza dos valores obtidos por meio da correlação, a qual utilizou os valores experimentais de retenção gasosa global deste trabalho. Para $\dot{\gamma}_m$, as diferenças relativas encontradas para os diâmetros de 4, 5 e 6 mm, em termos percentuais, foram de 48,7; 33,1 e 25,0%, respectivamente, comprovando que o diâmetro de 4 mm demonstrou resultados mais próximos aos obtidos pela correlação, a qual utiliza dados experimentais deste trabalho. Os resultados encontrados também demonstram a importância da consideração da força de sustentação no modelo matemático utilizado.

Esperança *et al.* (2019) avaliaram a influência da geometria de biorreatores airlift na taxa de cisalhamento média utilizando diferentes fluidos Newtonianos e não-Newtonianos, considerando somente a força de arrasto. Os autores relataram que, para o sistema água-ar, as taxas de cisalhamento médias obtidas a partir de simulação por CFD divergiram dos valores previstos por correlações que utilizam os perfis de velocidade do líquido, porém os valores apresentaram a mesma ordem de grandeza e comportamento em relação à velocidade do líquido.

CONCLUSÃO

Na comparação entre os diâmetros de bolha médios e constantes utilizados neste estudo (4, 5 e 6 mm), a utilização do menor diâmetro (4 mm) gerou maior concordância entre os resultados estimados por fluidodinâmica computacional e calculados por correlação para a taxa de cisalhamento média, sendo os melhores ajustes para o diâmetro de 4 mm observados para a maior vazão específica de ar aplicada neste estudo (5 vvm).

NOMENCLATURA

C_D	Coeficiente de arrasto	-
C_D^{elip}	Coeficiente de arrasto para bolhas em formato de elipse	-
C_D^{esf}	Coeficiente de arrasto para bolhas em formato de esfera	-
C_D^{touca}	Coeficiente de arrasto para bolhas em formato de touca	-
$C_{\epsilon 1}$	Constante do modelo de turbulência $k - \epsilon$	-
$C_{\epsilon 2}$	Constante do modelo de turbulência $k - \epsilon$	-
C_μ	Constante do modelo de turbulência $k - \epsilon$	-

$C_{\mu p}$	Constante do modelo de turbulência $k - \epsilon$	-
d_B	Diâmetro das bolhas de ar	mm
κ	Energia cinética turbulenta	J/kg
α_G	Retenção gasosa global	-
ϵ	Taxa de dissipação de energia cinética turbulenta	J/kg
$\dot{\gamma}_m$	Taxa de cisalhamento média	s^{-1}
μ_i	Viscosidade dinâmica da fase "i"	Pa.s
ρ_i	Densidade da fase "i"	$kg.m^{-3}$

REFERÊNCIAS

DENG, Z. *et al.* Mass-transfer behaviors in alcohol solutions in an internal-loop airlift reactor of 5-m height. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 50, n. 20, p. 11537–11543, 2011.

EKAMBARA, K.; DHOTRE, M.T. CFD simulation of bubble column. *Nuclear Engineering and Design*, 2010, 240: 936-969.

ESPERANÇA, M.N., MENDES, C.E, RODRIGUEZ, G.Y., CERRI, M.O., BÉTTEGA, R., BADINO, A.C. Average shear rate in airlift bioreactors: searching for the true value, *Bioprocess Biosyst. Eng*, 2019, 42: 995–1008.

FREITAS, C.; TEIXEIRA, J. A. Oxygen mass transfer in a high solids loading three-phase internal-loop airlift reactor. *Chemical Engineering Journal*, v. 84, n. 1, p. 57–61, set. 2001.

GRACE, J.R., WAIREGI, T., NGUYEN, T.H. Shapes and velocities of single drops and bubbles moving freely through immiscible liquids, *Process Saf. Environ. Prot.* 1976, 54:167–173.

KULKARNI, A. A; JOSHI, J. B. Bubble formation and bubble rise velocity in gas - liquid systems: A Review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 44, p. 5873–5931, 2005.

LABORDE-BOUTET, C., LARACHI, FA., DROMARD, N., DELSART, O., SCHWEICH, D. CFD simulation of bubble column flows: Investigations on turbulence models in RANS approach. *Chemical Engineering Science*, 2009, 64: 4399-4413.

LI, W., ZHONG, W. CFD simulations of hydrodynamics of gas – liquid – solid three-phase bubble column. *Powder Technology*, 2015, 766-788.

PAINMANAKUL, P. *et al.* Effect of surfactants on liquid-side mass transfer coefficients. *Chemical Engineering Science*, v. 60, n. 22, p. 6480–6491, nov. 2005.

PEREZ, J. A. S. *et al.* Shear rate in stirred tank and bubble column bioreactors. *Chemical Engineering Journal*, v. 124, n. 1-3, p. 1-5, 2006.

RODRIGUEZ, G.Y., VALVERDE-RAMIREZ, M., MENDES, C.E., BETTEGA, R., BADINO, A.C. Global performance parameters for different pneumatic bioreactors operating with water and glycerol solution: experimental data and CFD simulation, *Bioprocess Biosyst. Eng.*, 2015, 38: 2063–2075.

TABIB, M. V., ROY, S. A., JOSHI, J. B. CFD simulation of Bubble column-an analysis of interphase forces and turbulence

ANÁLISE ENERGÉTICA PREDIAL ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Data de submissão: 07/04/2023

Data de aceite: 02/05/2023

Guilherme Antonio dos Santos

Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, Brasil
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2331-637X>

Lucas Francisco Rodrigues

Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, Brasil
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2384-7445>

Maria Thereza de Moraes Gomes Rosa

Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, Brasil
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9673-9659>

Miriam Tvrzská de Gouvêa

Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, Brasil
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6568-2634>

RESUMO: O presente trabalho apresenta a simulação da carga térmica das zonas climatizadas do 1º pavimento do edifício Alfred Cownley Slater (prédio 04) da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), em Higienópolis, utilizando o

simulador EnergyPlus™, interagindo com o programa de modelagem 3D SketchUp® por meio do *plug-in* Openstudio®. As cargas simuladas foram utilizadas como parâmetros de entrada para emular um sistema de compressão a vapor codificado no ambiente de programação do MATLAB®, que possibilita otimizar a operação do sistema de compressão a vapor. A configuração no EnergyPlus™ foi feita através do uso da documentação de projeto fornecida pela Coordenação de Obras e Manutenção (COMAN) da UPM, comparando as cargas térmicas simuladas e projetadas. Os resultados atestam que o EnergyPlus™ reproduziu as condições térmicas previstas no projeto oficial do pavimento e possibilita a avaliação do efeito de perturbações na carga térmica. Ainda, por meio do MATLAB®, mostrou-se a redução de consumo de energia da ordem de 13% que pode ser alcançada com adequadas manipulações da abertura de válvulas de expansão eletrônicas do sistema VRV, da rotação do compressor e da vazão de ar externo para o condensador do sistema de compressão a vapor.

PALAVRAS-CHAVE: EnergyPlus™. Carga térmica predial. VRV. Otimização.

BUILDING ENERGY ANALYSIS THROUGH COMPUTATIONAL SIMULATION

ABSTRACT: The present work presents the simulation of the thermal load of the climatized zones of the 1st floor of the Alfred Cowmley Slater building (building 04) of Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), in Higienópolis, using the EnergyPlus™ simulator, interacting with the 3D modeling program SketchUp® via the Openstudio® plug-in. The simulated loads were used as input parameters for an emulator of the vapor compression system coded in the MATLAB® programming environment, which makes it possible to optimize the operation of the vapor compression system. The configuration in EnergyPlus™ was done using the project documents provided by the Coordination of Works and Maintenance (COMAN) of the UPM, comparing the simulated and projected thermal loads. The results attest that EnergyPlus™ reproduced the thermal conditions foreseen in the official pavement design and allow an evaluation of the effect of disturbances on the thermal load. Still, through MATLAB®, a reduction in energy consumption of around 13% was shown, which can be achieved with adapted manipulations of the opening of electronic expansion valves of the VRV system, the rotation of the compressor and the flow of external air to the condenser of the steam room system.

KEYWORDS: EnergyPlus™. Building thermal load. VRV. Optimization.

1 | INTRODUÇÃO

A preocupação com as condições de conforto humano promoveu nas últimas décadas uma crescente utilização dos equipamentos de ar-condicionado, acarretando um aumento da demanda energética no setor de refrigeração (MITCHELL et al., 2018). Segundo Vakiloroya et al. (2014), aproximadamente 50% do consumo de energia elétrica em edificações comerciais é devido aos sistemas de ar-condicionado. A elevada demanda por energia causa preocupações relacionados com a preservação do meio ambiente e do aumento do aquecimento global. Nesse viés, destacam-se dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), segundo a qual as edificações representam 50% do consumo de eletricidade do Brasil, projetando um cenário onde a demanda de eletricidade por conta dos ar-condicionados pode crescer 5,4% ao ano e atingir 48,5 TWh em 2035 (EPE, 2018). A fim de realizar um processo de avaliação e otimização do consumo energético, é fundamental uma adequada previsão da carga térmica, parâmetro definido como a quantidade de calor que deve ser retirada do ambiente por unidade de tempo (PEREIRA et al., 2020, pg. 2).

O cenário do consumo energético atual evidencia a necessidade de iniciativas de pesquisas no ramo de otimização energética. Nesse viés, a problemática do presente trabalho corresponde à avaliação do consumo energético e da otimização da operação do sistema de ar-condicionado VRV do 1º pavimento do prédio 04 da UPM, localizado no campus Higienópolis, em São Paulo. Para tanto, elaborou-se por meio dos programas EnergyPlus™ e MATLAB®, um ambiente de simulação que possibilita analisar e otimizar

o consumo energético do sistema de ar-condicionado do 1º pavimento do Edifício Alfred Cownley Slater da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Segundo Zhao e Yo (2017), estratégias de otimização da operação de sistemas de refrigeração não são comuns, mas que as iniciativas vigentes evidenciam a possibilidade de redução do consumo energético. O uso de programas acreditados na literatura possibilita a previsão do consumo energético com elevado grau de assertividade. Nesse sentido, salienta-se que o EnergyPlus™ é recomendado na literatura para a previsão da carga térmica (ENGINEERING ESSENTIALS, 2019). Contudo, esse programa apresenta limitações de modelagem no que tange ao sistema de compressão a vapor e não resolve problemas de otimização formulados como problemas da programação não linear. Assim, o uso desse simulador associado ao simulador MATLAB®, em que modelos de alta fidelidade do sistema de compressão a vapor podem ser programados, possibilita uma investigação mais acurada.

A fim de detalhar o objeto de estudo, destaca-se que o Edifício Alfred Cownley Slater, também denominado como prédio 04, está instalado no campus Higienópolis, na cidade de São Paulo, e contém salas de aula para estudantes e laboratórios. Seu primeiro pavimento, ilustrado na Figura 1, é composto por 8 ambientes: salas de aula 201, 202 e 203, corredor com elevador, escadas, *hall*, gabinete de topologia e o laboratório de informática HSBC. Desses locais, as salas de aula, laboratório e gabinete são zonas climatizadas, sendo empregado um sistema do tipo VRV da fabricante Daikin™, dotado de 2 compressores e 3 condensadores a ar externos. Cada pavimento da edificação possui um sistema de ar-condicionado independente e no 1º pavimento há 16 unidades evaporadoras.

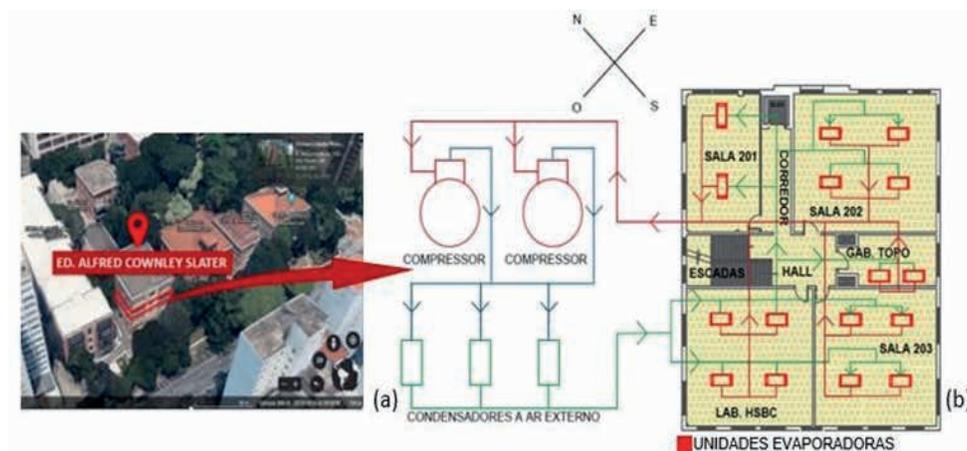


Figura 1 – Edifício Alfred Cownley Slater e o sistema de ar-condicionado do 1º pavimento
Fontes: Google Earth (2022) (a) e adaptado de documentos do setor COMAN da UPM (b)

A Tabela 1 sintetiza os dados de projeto do sistema de ar-condicionado do 1º

pavimento do prédio 04. Nesta tabela são considerados dois cenários de ventilação de ar externo, sendo no primeiro a vazão de ventilação obtida em conformidade com a portaria 3523/98 do Ministério da Saúde para qualidade do ar em ambientes climatizados e no segundo, a vazão de ar eficaz estimada pela norma ABNT 16401-3, utilizando como locais estabelecimentos de ensino (salas de aula e laboratórios) nível 1 (correspondendo ao nível mínimo de vazão de ar exterior para ventilação). Para a sala 203 foi considerada a temperatura externa de 32,2°C e as cargas térmicas são aquelas documentadas no memorial de cálculo do projetista do sistema de ar condicionado.

01 – Zonas climatizadas		SL. 201	SL. 202	GAB. TOPO	LAB. HSBC	SL. 203
02 - Área	m ²	40,10	78,90	18,10	69,20	66,60
03 - Pessoas	qtde.	28	95	1	27	74
04 - Iluminação	W/m ²	12	12	12	12	12
05 - Equipamentos	kW	5,8	1	6,5	10	2
06 - Ar Externo I	Portaria 3523/98 (m ³ /s)	0,211	0,712	0,015	0,203	0,556
07 – Ar Externo II	ABNT 16401-3 (m ³ /s)	0,164	0,538	0,016	0,177	0,275
08 - Temp. Externa	°Cbs	32,2	32,2	32,2	32,2	32,9
09 - Temp. Interna	°Cbs	22	24	22	22	22
10 - UR Interna	%	50	50	50	50	50
CARGAS TÉRMICAS DE VERÃO – Vazão de Ventilação: Ar externo I						
11 - Sensível Interno	kW	12,326	15,352	8,213	17,407	13,095
12 - Latente Interno	kW	1,261	4,276	0,045	1,215	3,331
13 - Sensível Externo	kW	2,092	5,675	0,152	2,010	5,882
14 - Latente Externo	kW	4,921	14,742	0,357	4,726	12,948
Total	kW	20,600	40,045	8,767	25,358	35,256

Tabela 1 – Dados de entrada para a configuração do 1º pavimento do Edifício Alfred Cownley Slater

Fonte: Coordenação de Obras e Manutenção da UPM (2017), adaptado

Com relação à modelagem do sistema de compressão a vapor, essa é baseada no modelo proposto por Santos et al. (2022), o qual considera um sistema de ar-condicionado do tipo ar-água de um edifício comercial com área climatizada de 19.193,4 m², dotado de 3 *chillers* idênticos com carga nominal de 1064,4 kW. O fluido refrigerante empregado

nos sistemas de refrigeração tanto do Edifício Moderno como do Edifício Alfred Cownley Slater é o R410-A e por esta razão, adaptou-se o modelo do *chiller* considerado pelos autores para a carga nominal total do pavimento considerado neste trabalho. Demais detalhes da codificação e equacionamento do modelo de sistema de compressão a vapor são apresentados em Santos et al. (2023).

2 | METODOLOGIA

Os dados da Tabela 1 foram empregues para a configuração do simulador EnergyPlus™. Essa atividade corresponde à inserção de parâmetros que descrevem as zonas climatizadas e a se efetuar simulações que reproduzam as condições de projeto.

Inicialmente, procedeu-se com a adaptação do desenho técnico fornecido pela COMAN considerando um contorno único, conservando as dimensões das áreas internas de cada ambiente do 1º pavimento por meio do programa Autocad® 2022 da Autodesk®, programa com licença de estudante dado pela UPM. Com isso, foi possível inserir o arquivo de Autocad® no programa SketchUp®. Este último programa, possibilitou a construção do modelo termo-energético 3D do pavimento estudado. Para o tipo de edifício foi escolhida uma instituição de ensino médio americano, por ser esta a opção disponível mais próxima do ambiente acadêmico do prédio 04. Salienta-se que, posteriormente à etapa de configuração inicial, customizações foram feitas para a adequada adaptação do cenário real do prédio 04.

Imediatamente após os parâmetros iniciais configurados, especificou-se a geolocalização da aplicação. Conforme informações obtidas da COMAN, dados climáticos usados no projeto foram da região do aeroporto de Congonhas, São Paulo. Outrossim, a orientação do norte solar do prédio foi definida com base na rosa dos ventos adquirida nos desenhos técnicos disponibilizados, utilizando o *plug in* norte solar que obteve um ângulo de 46,83°, representado pela linha laranja na Figura 2.



Figura 2 – modelo termo energético 3D do 1º pavimento completo

Fonte: própria (2022)

O detalhamento da configuração do modelo se deu, primeiramente, pelas janelas consideradas como “*operable window*”, semelhantes às janelas basculantes presentes no edifício, seguindo a geometria obtida pela planta. As janelas de todo o edifício foram consideradas até um ponto extremamente próximo do teto, levando em conta, desse modo, sua parcela influente nas áreas. A exceção se deu para o ambiente gabinete de topologia onde a janela não seguia até o *plenum*, o qual foi considerado como um bolsão de ar na configuração dos materiais do teto. As portas foram padronizadas com 2,1 m de altura e 0,9 m de largura desconsiderando suas janelas, tendo como pé direito do pavimento 2,7 m. Como hipóteses simplificadoras, considerou-se que a superfície externa ao teto sobre o *plenum* e o solo das zonas são adiabáticos, indicado com cor rosa na Figura 2, bem como as áreas de exaustão do gabinete de topologia, sendo assim, não relevantes para o simulador a configuração de seus componentes de construção. Ademais, não foram introduzidos elementos de sombreamento, como os edifícios vizinhos na simulação. As paredes internas evidenciadas em verde pela Figura 2 foram configuradas possuindo transferência de calor através de suas áreas. As zonas climatizadas dos pavimentos são as salas 201, 202, 203, laboratório HSBC e gabinete de topologia. As demais áreas não são refrigeradas e devido à consequente ausência de informações nos documentos disponibilizados pela COMAN, não foram consideradas fontes de calor e foram configuradas como espaço, sendo corredor e *lobby* do modelo de escola americana para que parâmetros de incidência solar influentes calculados pelo Energyplus™ nas zonas climatizadas não ficassem discrepantes.

O programa Openstudio® foi usado como ambiente de interface entre o usuário e o simulador EnergyPlus™. Com relação às abas deste programa que permitem detalhar o modelamento, para a aba “local”, as informações pertinentes implementadas foram o arquivo climático de Congonhas, São Paulo do tipo SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) de 1978 disponibilizado no site oficial do EnergyPlus™ e que são recomendados para estudos de simulação energética. Ainda nessa aba, foi selecionada a zona climática 1A correspondente à área da Flórida, sendo o clima considerado similar ao da localidade do prédio 04. Além disso, foi inserido o arquivo de dias de projeto, que leva em conta os dias com maior demanda térmica para verão e inverno. Para o trabalho, esse arquivo de entrada foi adaptado para o período de verão na data de 28 de fevereiro, em que se observou uma maior demanda térmica no ano. Foi, ainda, atribuído como fator para o ASHRAE *clear sky* o valor de 1,2. A velocidade do vento média adotada após pesquisas de cunho climatológico para embasamento no verão de Congonhas, São Paulo, foi de 3,4 m/s.

Na aba “horários”, os tempos de operação para equipamentos, ocupação, dissipação térmica e temperatura interna e infiltração foram considerados todos como constantes para que os valores inteiros sejam contabilizados para a carga térmica total das zonas. Para a temperatura de resfriamento, colocou-se a temperatura das respectivas zonas e na atividade metabólica inseriu-se o valor de 115 W/pessoa, conforme documentação do projeto.

Referente aos aspectos construtivos do pavimento, definiram-se os materiais e composição das paredes externas e internas, janelas, portas, teto e piso como apresentado na Tabela 2. Conforme mencionado, a superfície externa ao teto e o solo foram considerados adiabáticos e, dessa forma, mantiveram-se as configurações padrão do simulador. Dado que a biblioteca do EnergyPlus™ contém materiais de construção americanos, foi necessária a criação de materiais definindo suas propriedades termo-físicas de acordo com a norma ABNT 15220-2, assim como a espessura de cada parede. Destaca-se que para o vidro foram alteradas apenas a espessura e condutividade térmica, sendo os demais parâmetros relacionados com a absorvidade, emissividade e reflectância mantidos do modelo de ensino médio americano do programa. Os materiais e suas disposições em camadas compondo as paredes foram adaptados devido às poucas informações no âmbito construtivo do pavimento nos documentos recebidos. Para o piso e teto foram considerados a composição que o programa oferece, sendo concreto leve, bolsão de ar e *layers* acústicos. Ressalta-se que a rugosidade para todas as superfícies foi tomada como média.

Parede externa	Tijolo maciço cerâmico aparente, tijolo maciço cerâmico de concreto e reboco claro
Parede interna	Reboco claro, tijolo maciço cerâmico de concreto e reboco claro
Piso	Concreto leve, bolsão de ar e layers acústicos
Teto	Concreto leve, bolsão de ar e layers acústicos
Janela	Vidro incolor
Porta	Madeira prensada

Tabela 2 – Aspectos construtivos do 1º Pavimento

Fonte: Santos et al. (2023), adaptado

Foram também configurados parâmetros para a avaliação das cargas internas relativas aos equipamentos contidos nas salas, iluminação e número de pessoas. Na aba “espaços”, referente à infiltração devido à ausência de informações nos documentos coletados, baseou-se nas recomendações de ASHRAE (2009) para edifícios comerciais que estipula um intervalo de 0,5 a 2 trocas de ar por hora, considerando para o trabalho os valores nessa mesma unidade de 1 (sala 201), 2 (sala 202), 1,6 (sala 203), 0,2 (gabinete de topologia) e 0,6 (laboratório HSBC) que ficaram condizentes com a vazão de ar exterior total do projeto. Em sequência, na divisão de espaços, foi necessário um estudo e a realização de uma série de simulações para a verificação das influências dos algoritmos do simulador para o cálculo da transferência de calor por convecção na carga térmica dos ambientes analisados, escolhendo-se as opções mais adequadas para a validação do modelo com os dados de projeto. Nessa mesma seção de configuração, inseriu-se a temperatura de resfriamento do ar da zona (parâmetro do simulador denominado de *setpoint*) e a taxa de umidade do ar para que a umidade relativa fosse ajustada na simulação de acordo com o requerido. Os demais parâmetros em todas as abas não abordados foram deixados na forma padrão do programa. Na aba “Zonas térmicas”, os horários de operação da temperatura de resfriamento dos termostatos previamente configurados localizados em cada área climatizada do pavimento foram inseridos. Ainda, habilitou-se o *IdealAirLoads* para todos os ambientes climatizados. Por fim, simulou-se a carga térmica de projeto do 1º pavimento do prédio 04 e com base em seu relatório, compararam-se as respostas simuladas aos dados de projeto disponibilizados pelo COMAN. Validada a carga térmica de projeto, procedeu-se com a aplicação de perturbações para avaliar a alteração na carga térmica modificando a vazão de ar exterior, o nível de ocupação e a temperatura interna da sala 202.

Com relação às adaptações realizadas no programa de simulação da operação de um *chiller* do Edifício Moderno de Santos et al. (2022), alteraram-se as condições ambientais externas para aquelas do projeto do prédio 04, bem como procedeu-se à adequação dos coeficientes globais de troca térmica do condensador e evaporadora, além de se adequar a vazão de ar exterior para o condensador. Optou-se por se trabalhar com um modelo

genérico, em que a evaporadora do sistema de compressão a vapor possui uma capacidade de 130,026 kW, carga térmica total simulada pelo EnergyPlus™. As simulações do sistema de compressão a vapor realizadas neste trabalho tiveram por objetivo reduzir a potência do compressor. Foram simulados cenários em que se manipularam a rotação do compressor e a abertura das válvulas de expansão eletrônica, mantendo-se a temperatura nas zonas controladas. Adicionalmente, foram feitas simulações em que se incluiu a possibilidade de manipulação da vazão de ar para os condensadores. Os problemas de otimização foram resolvidos pelo método SQP, utilizando-se a função *fmincon* do MATLAB®.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 3 apresenta os resultados destacando a carga térmica de projeto e previstos pelo simulador EnergyPlus™. Os resultados mostram boa concordância entre os valores simulados e previstos no projeto para a carga térmica sensível, não sendo obtidos erros superiores a 6%. Embora tenha ocorrido para algumas zonas uma discrepância significativa da ordem de 12% na previsão da carga térmica latente, o erro de previsão na carga térmica total é pequeno ou adequado (inferior a 5%) para todas as zonas simuladas, sendo os maiores desvios da ordem de 4% observados para o gabinete de topologia e na sala 202, dado para esta última a contribuição do calor latente muito significativa (da ordem de 45%). Dois comentários são pertinentes nesse momento. Primeiramente, deve-se ressaltar que a previsão da carga latente de ventilação pela projetista não leva em conta as propriedades termodinâmicas reais dos ares externo e interno, como será comentado adiante. O simulador EnergyPlus™ não disponibiliza nos relatórios as predições realizadas para a carga térmica latente. Dessa forma, nesse trabalho usou-se um recurso do programa Openstudio® para a obtenção da carga latente como será comentado no próximo parágrafo e para tanto os horários de pico adotados para a estimativa da carga latente são, respectivamente, para as salas 201, 202, 203, Gabinete de Topologia e Laboratório HSBC: 16:40, 9:30, 17:30, 9:00 e 17:20.

Zona	Carga sensível(kW)		Erro(%)	Carga latente(kW)		Erro (%)	Erro da carga térmicatotal (%)
	Projeto	Open Studio®		Projeto	Open Studio®		
Sala201	14,418	14,664	1,7	6,181	5,435	12,1	2,4
Sala202	21,027	21,326	1,4	19,018	17,123	10,0	4,0
Sala203	18,978	19,885	4,8	16,278	14,384	11,6	2,9
Gab.Topo	8,366	8,033	4,0	0,402	0,368	8,7	4,2
Lab. HSBC	19,416	20,513	5,7	5,942	5,290	11,0	1,8

Tabela 3 – Cargas térmicas simuladas e comparativo

Fonte: própria (2022)

Contribuem para a carga térmica latente as cargas térmicas devidas à ventilação, infiltração e dissipação térmica de pessoas (por meio da respiração e transpiração). O cálculo da contribuição latente no projeto do prédio 04 foi realizado de forma simplificada a exemplo do equacionamento apresentado por Creder (2003), não se levando em conta as reais umidades absolutas do ar externo ou interno às zonas, ou seja, a carga térmica latente predita não é dependente do efetivo estado termodinâmico do ar. Para o simulador EnergyPlus™, efetuaram-se perturbações na umidade relativa do ar externo e constatou-se que havia alteração na carga latente e que a previsão realizada pelo simulador por meio do emprego da rotina de pulsos do programa OpenStudio® é coerente com o equacionamento rigoroso baseado na Termodinâmica em que a entalpia do estado intermediário é avaliada na temperatura de bulbo seco do ar externo e umidade absoluta do ar interno. As entalpias específicas são avaliadas conforme descrito em ASHRAE (2009) e assim, considera-se mais precisa a previsão efetuada pelo simulador EnergyPlus™ por meio do uso da rotina de pulsos pelo programa OpenStudio®.

Embora as diferenças de previsão entre a carga térmica sensível prevista pelo simulador e a considerada pelo projetista sejam pequenas, destaca-se que há consideráveis diferenças de previsão nas parcelas que compõem a carga térmica sensível, ocorrendo um cancelamento de erros. A Tabela 4 apresenta as principais diferenças de previsão nas parcelas que contribuem para as cargas térmicas sensível e latente. Com relação à carga térmica sensível, há um significativo desvio nas parcelas devidas à radiação térmica, sendo que os cálculos efetuados no projeto são simplificados e o simulador efetua cálculos rigorosos, levando em conta o ângulo de incidência da radiação, horário, época do ano e geolocalização da edificação. Com relação à carga latente, como já comentado anteriormente, a maior discrepância também é devida ao cálculo simplificado realizado no projeto.

Zona	Carga térmica de incidênciasolar (kW)			Ar exterior (infiltração eventilação) (kW)		
	Projeto	Simulador	Erro (%)	Projeto	Simulador	Erro (%)
Sala201	2,862	2,599	9,2	7,013	7,040	0,4
Sala202	5,279	4,529	14,2	20,418	20,072	1,7
Sala203	3,834	3,032	21,1	18,830	18,641	1,0
Gab.Topo	0,947	0,621	34,4	0,509	0,529	3,9
Lab. HSBC	3,203	3,679	14,7	6,736	6,868	2,0

Tabela 4 – Cargas associados a incidência solar e ar exterior

Fonte: própria (2022)

Na Figura 3, para as parcelas de cargas térmicas das zonas, percebe-se que as zonas com menos equipamentos e maior ocupação, a contribuição das parcelas devidas à

ventilação e metabolismo humano são mais expressivas, onde nas salas de aula 202 e 203, a contribuição ultrapassa 50%.

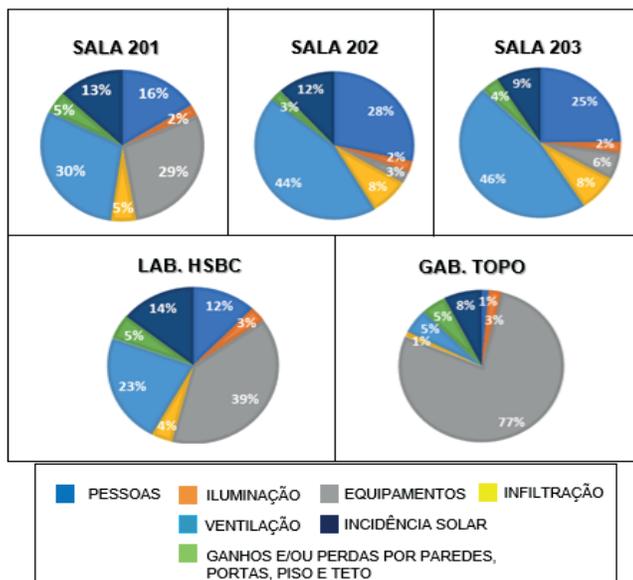


Figura 3 – Parcelas contribuintes das cargas térmicas simuladas

Fonte: própria (2022)

O projeto do sistema de ar-condicionado do prédio 04 considera dois valores para a vazão de ar externo, sendo para fins de dimensionamento do sistema, considerado o maior valor, o qual foi usado nos resultados apresentados anteriormente. A vazão de ar de ventilação obtida a partir do procedimento de avaliação da norma ABNT 16401-3 (ABNT, 2008) é menor, com exceção do gabinete de topologia na qual é próxima à norma citada, e assim na Tabela 5, mostram-se os valores de carga térmica obtidos pelo simulador para esta vazão menor e avalia-se a redução na carga térmica em relação aos valores simulados anteriormente na Tabela 3. Não se apresentam os resultados para o gabinete de topologia, uma vez que devido à baixa ocupação, mínima é a alteração na vazão de ventilação, não ocorrendo uma efetiva redução na carga estudada. Uma observação pertinente é que a redução na vazão de ventilação afeta tanto a carga térmica latente como sensível. Foram mantidas as configurações dos resultados simulados na Tabela 3, modificando apenas a vazão de ventilação e verificando a redução promovida pelo programa.

Zona	Carga sensível total (kW)	Redução com base nos dados da simulação (Tabela 3)(%)	Carga latente total (kW)	Redução com base nos dados da simulação (Tabela 3)(%)	Carga térmica total (kW)	Redução com base nos dados da simulação (Tabela 3) (%)
Sala 201	14,215	3,1	4,612	15,1	18,827	6,3
Sala 202	19,855	6,9	14,479	15,4	34,334	10,7
Sala 203	16,875	15,1	9,353	35,0	26,228	23,5
Lab. HSBC	20,277	1,2	4,819	8,9	25,096	2,7

Tabela 5 – Cargas térmicas simuladas para vazões de ventilação pela ABNT 16401-3 e reduções

Fonte: própria (2022)

A Tabela 5 evidencia que a redução do consumo de energia ao se adotar o padrão ABNT para o cálculo da vazão de ar externo é mais significativa para as salas em especial para as maiores salas de aula, em que há na condição de projeto mais estudantes. Consequentemente, percebe-se que é recomendado não se operar o sistema de ar-condicionado com uma vazão de ar de renovação constante, como atualmente ocorre e que a vazão de ar de renovação deveria ser obtida conforme a real ocupação prevista para a sala, ou seja, com base no número de alunos matriculados numa dada disciplina. Nesse sentido, o sistema de automação do sistema VRV poderia ajustar a vazão de ar de renovação para cada horário de aula. Nota-se que apenas a redução na premissa de cálculo da vazão de ar exterior levou a uma redução de energia na sala 203 de 23,5%.

Para se avaliar o efeito da ocupação na carga térmica de refrigeração, efetuaram-se simulações com os seguintes números de pessoas recomendadas na pandemia do vírus SARS-CoV-2 nas zonas em que as aulas são ministradas: 13 (sala 201), 38 (sala 202), 33 (sala 203), 13 (laboratório HSBC). Mais uma vez, mantiveram-se os parâmetros da simulação da Tabela 3, modificando apenas o número de pessoas. Os resultados são apresentados na Tabela 6. A maior redução na carga térmica de 16,9% foi encontrada na sala 202 para a qual o projeto considera uma ocupação de 95 pessoas, número muito superior ao efetivo número de estudantes matriculados nos cursos de engenharia para a sala de aula. No gabinete de topologia, devido ao número de 1 pessoa considerada em projeto, não foi feita modificação.

Zona	Carga sensível total (kW)	Redução com base nos dados na simulação (Tabela 3)(%)	Carga latente total (kW)	Redução com base nos dados na simulação (Tabela 3)(%)	Carga térmica total (kW)	Redução com base nos dados na simulação (Tabela 3) (%)
Sala 201	13,545	7,6	4,876	10,3	18,421	8,3
Sala 202	17,437	18,2	14,497	15,3	31,934	16,9
Sala 203	16,723	15,9	12,855	10,6	29,578	13,7
Lab. HSBC	19,472	5,1	4,768	9,9	24,240	6,1

Tabela 6 – Cargas térmicas simuladas e reduções associadas a pessoas

Fonte: própria (2022)

O simulador EnergyPlus™ pode ser usado para se avaliar o efeito de alterações nos *setpoints* de temperatura das zonas climatizadas. Na Tabela 7, há resultados de uma simulação, em que para a sala 202, alterou-se a temperatura interna de 24°C para 22°C, mantendo-se a temperatura de insuflamento de ar de 20°C, conforme documentado no projeto. Percebe-se que enquanto ocorre um aumento da carga térmica sensível, como esperado, há uma diminuição da carga térmica latente, fenômeno que aparece reportado na literatura por Stocker et al. (1985) ocasionando uma diminuta alteração no aumento da carga térmica total. Assim, promover uma fixação do *setpoint* por instâncias gerenciais não trará reduções no consumo de energia tão significativas como aquelas promovidas pela regulação da vazão de ar externo.

Zona	Carga sensível total (kW)	Aumentoda carga térmica (%)	Carga latente total (kW)	Redução da carga térmica (%)	Carga térmica total (kW)	Aumento da carga térmica (%)
Sala 202	24,416	4,4	18,786	1,2	43,202	1,9

Cargas ajustadas na planilha oficial (kW): 23,387 (sensível), 19,019 (latente) e 42,406 (total)

Tabela 7 – Mudanças na sala 202 pelo parâmetro de temperatura interna

Fonte: própria (2022)

A fim de mostrar que diferentes consumos energéticos são obtidos conforme a incorporação ou não da manipulação da rotação dos ventiladores, apresentam-se os resultados de simulação do modelo rigoroso para um sistema de compressão a vapor que emula o comportamento do sistema no 1º pavimento do prédio 04. As reduções percentuais da potência do compressor obtidos pela simulação realizada no MATLAB® foram de 0,2% na situação 1, que corresponde a um cenário onde a vazão de ar pelo condensador está constante, sendo manipuladas pelo programa as variáveis referentes a válvula de expansão eletrônica e a rotação do compressor, e 13,3% para a situação 2, que incluiu como variável de decisão do problema de otimização, a rotação dos ventiladores. Assim, conclui-se que é

importante a ampliação das variáveis manipuladas consideradas no sistema de automação do sistema de ar condicionado VRV e que a incorporação da etapa de otimização em tempo real da operação que consideraria inclusive dados de ocupação levaria a significativas reduções do consumo energético.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O simulador EnergyPlus™ foi capaz de prever o efeito de perturbações e possibilitou verificar que tipos de manipulações podem ser feitas visando minimizar o consumo energético. As pequenas discrepâncias entre os valores simulados pelo programa EnergyPlus™ e os dados de projeto são devidas a um maior rigor matemático da modelagem do simulador EnergyPlus™, que possibilita avaliar efeitos decorrentes de variações ambientais, além de ocupação. Viu-se que uma redução na ventilação e ocupação podem levar a uma diminuição da carga térmica considerável superior a 20%. A simulação e otimização da operação do chiller do 1º pavimento do prédio 04 mostrou a possibilidade de redução em cerca de 13% no consumo energético mediante a incorporação no sistema de automação como variável manipulada, a rotação dos ventiladores dos condensadores a ar do sistema de compressão a vapor do 1º pavimento.

AGRADECIMENTOS

O autor Guilherme Antonio dos Santos agradece a bolsa de Iniciação Científica na modalidade “MackPesquisa” concedida pela UPM. Ademais, a autora Míriam Trzská de Gouvêa agradece os recursos obtidos por meio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, por meio do processo 06/50049-2. Os autores de forma geral agradecem ao engo. Matheus Alvarenga Bernardi do setor de Coordenação de Obras e Manutenção (COMAN) da UPM pelo fornecimento dos documentos citados no projeto e pelas dúvidas retiradas com relação às considerações tomadas para o dimensionamento da carga térmica do 1º pavimento.

REFERÊNCIAS

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook Fundamentals**, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15220-2: **Desempenho térmico de edificações - Parte 2 – Componentes e elementos construtivos das edificações – Resistência e transmitância térmica – Métodos de cálculo**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16401-3: **Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

CREDER, H. **Instalações de Ar Condicionado**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 6ª Edição. 2003.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Uso de Ar-Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética**, Rio de Janeiro: EPE, 2018.

MITCHELL, John W.; BRAUN, James E. **Princípios de Aquecimento, Ventilação e Condicionamento de Ar em Edificações**. São Paulo: Grupo GEN, 2018. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521635086/>. Acesso em: 24 abr. 2022.

PEREIRA, M. D. OLIVEIRA, A. S. **Análise do cálculo de carga térmica de uma câmara de resfriamento de carcaças bovinas com capacidade de 42 toneladas**. The Journal of Engineering and Exact Sciences – jCEC, Vol. 06 N. 05 (2020). Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cp/n118/16834.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2022.

SANTOS, Catarina G.; RUIVO, Júlia P.; GASPARINI, Letícia B.; ROSA, Maria T. M. G.; ODLOAK, Darci; GOUVÊA, Míriam T. **Steady-state simulation and optimization of an air-cooled chiller**. Case Studies in Thermal Engineering. v. 36, p. 5-24. 2022.

SANTOS, G. A. dos, RODRIGUES, L. F., ROSA, M. T. de M. G., & GÔUVEA, M. T. de. (2023). **Simulação de carga térmica e otimização de sistema de ar-condicionado utilizando a integração EnergyPlus™ / MATLAB®**. The Journal of Engineering and Exact Sciences, 9(2), 15337–01e. <https://doi.org/10.18540/jcecvl9iss2pp15337-01e>

STOECKER, W. F.; JONES, J.W. **Refrigeração e ar condicionado**. McGraw-Hill, 1985.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus™ version 9.2.0 Documentation: Engineering Essentials**. University of Illinois and The Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2019.

VAKILOROAYA, V.; SAMALI, B.; FAKHAR, A.; PISHGHADAM, K. **A review of different strategies for HVAC energy saving**. Energy Conversion and Management, v. 77, p. 738-754, 2014.

ZHAO, Z.; YU, N. **The application of advanced control technologies in air conditioning system – a review**. Advances in Building Energy Research, [S.l.], v.11, n. 1, p. 52-66, 2017.

DESAFIOS TECNOLÓGICOS DO APROVEITAMENTO DO MINÉRIO DE FERRO DE GRÃO MOGOL/MG

Data de submissão: 09/03/2023

Data de aceite: 02/05/2023

Ana Carolina Lisboa Bastos

Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM
Janaúba – MG
<https://lattes.cnpq.br/3590233893743696>

André Luiz Alves da Silva

Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM
Janaúba – MG
<http://lattes.cnpq.br/8461611200274998>

Marcos Júnio Alves dos Santos

Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM
Janaúba – MG
<http://lattes.cnpq.br/6291234901087347>

Maria Cecília Nogueira Teles Oliveira

Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM
Janaúba – MG
<https://lattes.cnpq.br/2141642009390555>

Raíssa Lóren de Oliveira Fernandes

Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM
Janaúba – MG
<https://lattes.cnpq.br/3434047142552305>

Sergio Eduardo Rodrigues Costa

Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM
Janaúba – MG
<http://lattes.cnpq.br/1497142140248337>

Jônatas Franco Campos da Mata

Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM
Janaúba – MG
<https://lattes.cnpq.br/8385118400138330>

RESUMO: Na crosta terrestre o ferro é o quarto elemento mais abundante, e o Brasil se caracteriza por apresentar reservas com alto teor de ferro, gerando um minério de qualidade, garantindo ao país destaque no mercado mundial como segundo maior na produção de ferro. Atualizar as informações a respeito da produção e reservas minerais é crucial para o melhor planejamento, aproveitamento e desenvolvimento tecnológico das reservas, ainda mais considerando o contexto atual, onde as reservas de elevados teores estão se esgotando. O Projeto Bloco 8, de responsabilidade da Sul Americana de Metais S/A (SAM), se localiza na região de norte do estado de Minas Gerais, e estima

uma capacidade produtiva de 27,5 milhões de toneladas por ano de *pellet feed*. Para tal feito o projeto busca trabalhar com inovações nos setores de beneficiamento, barragens e recirculação de água para que o minério de baixo teor seja aproveitado de maneira satisfatória.

PALAVRAS-CHAVE: Minério de ferro; Bloco 8; Baixo teor; Barragens; Beneficiamento.

TECHNOLOGICAL CHALLENGES OF USING IRON ORE FROM GRÃO MOGOL/MG

ABSTRACT: In the earth's crust, iron is the fourth most abundant element, and Brazil is characterized by having reserves with a high iron content, generating a quality ore, ensuring the country stands out in the world market as the second largest in iron production. Updating information about production and mineral reserves is crucial for better planning, use and technological development of reserves, especially considering the current context, where reserves of high grades are running out. Project Bloco 8, under the responsibility of Sul Americana de Metais S/A (SAM), is located in the northern region of the state of Minas Gerais, and estimates a production capacity of 27.5 million tons per year of pellet feed. To this end, the project seeks to work with innovations in the sectors of beneficiation, dams and water recirculation so that low-grade mining is used satisfactorily.

KEYWORDS: Iron ore; Bloco 8; Low content; Dams; Beneficiation.

1 | INTRODUÇÃO

O aproveitamento econômico de depósitos de minério de ferro de teor baixo é um desafio importante e necessário, considerando o empobrecimento progressivo das jazidas a nível nacional e mundial. O presente artigo traz luz ao Projeto Bloco 8, situado no município de Grão Mogol, no Norte de Minas Gerais, e que objetiva lavrar e beneficiar minérios de ferro de teores abaixo de 20% Fe.

1.1 O Ferro e suas aplicações

Segundo Medeiros (2010), o ferro (Fe), é um elemento químico de número atômico 26, massa atômica 56 u e é considerado o quarto elemento mais abundante na terra.

Conforme Caxito e Dias (2018), o ferro nativo é raro na natureza, entretanto, existem aproximadamente 300 minerais que detêm do ferro como componente essencial. Eles classificam-se em: óxidos, carbonatos, sulfetos e silicatos. Apenas os óxidos apresentam concentrações econômicas para obtenção do ferro e para serem tratados como minério (CARVALHO *et al.*, 2014).

O minério de ferro constitui-se de óxidos de ferro, das quais tem-se as formas primárias que são a magnetita (Fe_3O_4) e a hematita (Fe_2O_3), essas substâncias liberam ferro em sua forma metálica, quando as mesmas são aquecidas na presença de um agente redutor. O ferro também ocorre na forma de hidróxidos, como a goethita e limonita. Pode ocorrer também em sulfetos, como a pirita, calcopirita e pirrotita. Além de ocorrer nos carbonatos, como a siderita e ankerita, e em silicatos (CAXITO e DIAS, 2018).

Segundo Caxito e Dias (2018), o minério de ferro é extremamente importante para o desenvolvimento do país, visto que cerca de 98% do minério de ferro extraído é utilizado na indústria do aço e o restante é usado nas indústrias de ferro-liga e cimentos. A principal aplicação do minério de ferro é na indústria de aço, que é, essencialmente, uma liga de ferro e carbono. O aço por sua vez está inserido como matéria prima que é utilizada em diversos produtos e áreas, como na engenharia civil, na produção de aparelhos eletrônicos, além de outros setores de produção, e é utilizado também na indústria automobilística (CAXITO e DIAS, 2018).

1.2 Depósitos de minério de ferro

Os depósitos de minério de ferro podem ser divididos em cinco tipos, sendo eles: (i) formação ferrífera bandada; (ii) lateríticos, que são formados pelo intemperismo e alteração da superfície das rochas; (iii) Kiruna/Lahn-Dill, são depósitos associados à atividades vulcânicas; (iv) skarn, são relacionados à processos de metamorfismo de contato e/ou deformação; e (v) clinton-minette, formados por pequenos oólitos e depositados em ambientes marinhos rasos de plataforma continental. Os maiores e mais importantes depósitos são os de formação ferrífera bandada. (CAXITO e DIAS, 2018).

1.3 Formações ferríferas bandadas (FFB)

Essas FFBs, segundo Carvalho *et al* (2014), são constituídas por rochas sedimentares químicas, finamente bandadas ou laminadas e compostas, majoritariamente, por minerais de ferro e sílica. E, de acordo com o mineral de ferro prevaiente, as FFBs são divididas em quatro faces principais: óxido, carbonato, silicato e sulfeto (JAMES, 1954).

Para que ocorra a formação dos depósitos das FFBs, o Fe^{2+} precisa oxidar em Fe^{3+} , que é insolúvel em água, assim, esses íons precipitam-se no fundo dos oceanos, formando camadas ricas em ferro (CLOUD, 1973). Após a formação do depósito, as rochas podem tornar-se mais ricas em ferro, por processos de diagênese e metamorfismo, como o hidrotermalismo. Promovendo, dessa forma, um aumento na viabilidade econômica do depósito (CAXITO e DIAS, 2018; CARVALHO *et al.* 2014).

1.4 Principais depósitos de minério de ferro

Os principais depósitos de ferro do mundo ocorrem na Austrália, Brasil e Rússia. Os dois primeiros representam cerca de 2/3 de toda a exportação mundial. No Brasil, as principais regiões produtoras de minério de ferro são: Quadrilátero Ferrífero (MG), a Província Mineral de Carajás (PA) e a região de Corumbá (MS), na qual, seus depósitos são associados às FFBs, chamadas de itabirito (CARVALHO *et al.* 2014).

1.5 Distrito ferrífero Nova Aurora

É um dos principais depósitos de ferro em Minas Gerais. Ocorre na província ferrífera de Nova Aurora, ao norte do estado, e está inserida no Grupo Macaúbas (VILELA,

2010). Possuindo uma área de 575 km² e com cerca de 3,5 bilhões de toneladas de minério com teor de 35%, o Grupos Macaúbas foi subdividido em duas unidades litoestratigráficas: a formação Rio Peixe Bravo, e a formação Nova Aurora. Nessa última formação, foi especificado o Membro Riacho Poções, constituído por metadiamicrito hematítico com intercalações de quartzitos e filitos hematíticos, no qual se situam os principais depósitos de minério de ferro (VIVEIROS *et al.*, 1978). Nessa formação se situa o projeto Bloco 8, alvo do presente trabalho.

1.6 A escassez dos minérios de alto teor

Segundo Carvalho (2012), historicamente o minério de ferro têm sofrido, comparativamente a outras commodities minerais, pouca evolução nos processos de beneficiamento. Além disso, tem havido a diminuição dos teores relacionados a minérios itabiríticos disseminados, trazendo assim o aumento de demanda por processos de beneficiamento adaptados a minérios de baixo teor.

Diante do cenário iminente da escassez do minério de ferro de alto teor, torna-se necessário que as empresas de mineração desenvolvam estudos e técnicas para viabilizar novas reservas minerais a partir de teores de ferro médios mais baixos, bem como adaptar seus processos de beneficiamento mineral a essa nova realidade. O beneficiamento de minérios mais pobres permitirá a ampliação da vida útil das minas, e irá gerar um adicional de aproximadamente, 50% na produção anual para a mineradora (CARVALHO, 2012).

O projeto Bloco 8 é um empreendimento de grandes dimensões, que visa trazer benefícios importantes às comunidades do entorno da cidade de Grão Mogol, bem como para outras cidades influenciadas pelo projeto mineração que aproveitará minérios de baixo teor (SANTOS, 2021). De acordo com Santos (2021), o Bloco 8 tem como finalidade extrair e tratar minérios de ferro de baixo teor, ou seja, 20% de ferro em média, e obter um concentrado de alta qualidade. Sua produção estimada é de 27,5 toneladas de *pellet feed* (base úmida) por ano.

2 | METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho foi a pesquisa bibliográfica. Os dados coletados foram organizados e sistematizados, facilitando a análise e a interpretação dos resultados. O tema da pesquisa foi direcionado para o aproveitamento do minério de ferro de baixo teor da Sul Americana de Metais S/A (SAM) inserido na formação Nova Aurora, de forma a obter as informações específicas sobre o conteúdo.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um dos grandes desafios enfrentados pela SAM é o aumento do teor de ferro de 20% (ROM) para 66,7% (produto). É necessário a definição da rota de beneficiamento

desse minério, que seja viável e aproveite de maneira eficiente o seu recurso mineral. Os diferentes minérios de ferro do referido depósito foram testados em planta piloto, garantindo assim o ajuste de todos os parâmetros importantes para a definição da planta de beneficiamento mineral. A Figura 1 apresenta o fluxograma previsto (BRANDT, 2019).

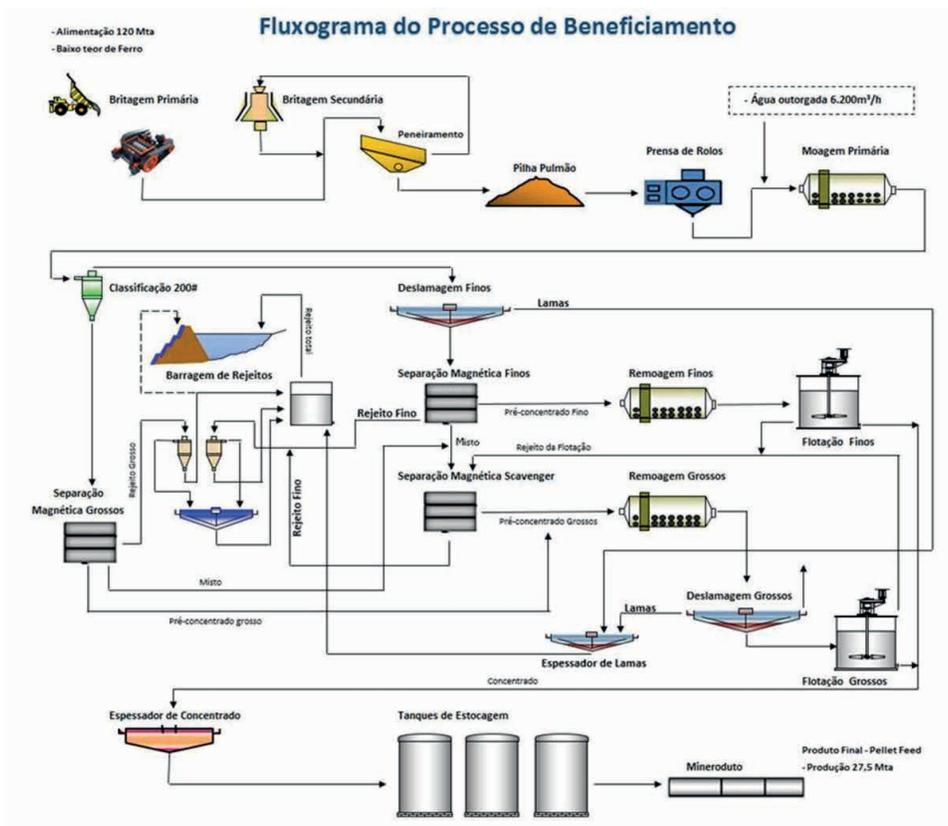


Figura 1: Fluxograma do Processo de Beneficiamento.

Fonte: EIA - SAM (2019).

A empresa BRANDT Meio Ambiente (2019) foi contratada pela Sul Americana de Metais (SAM) para realizar o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), sendo a rota do processo de beneficiamento uma parte importante deste documento.

3.1 Britagem e Moagem

O minério irá chegar no britador através do transporte de caminhões, vão ser alimentadas duas instalações de britagem semimóvel, onde terá extração por meio dos alimentadores de sapatas com destino a grelha vibratória, o material retido passará pelo britador de rolos. Posteriormente o passante na grelha e no britador serão encaminhados

para o transportador de correias, juntando-se ao transportador principal que se eleva no decurso do acesso principal da cava. Ao sair da cava, por meio de dois transportadores do tipo “shuttle”, o minério é levado para o silo, que possui saídas com alimentadores de correia e peneiras vibratórias do tipo banana.

O material passante prosseguirá através de transportadores de correia para as pilhas alongadas de alimentação concentradora. O que ficou retido será destinado a britagem secundária. O material retido no peneiramento, será carregado por dois transportadores do tipo “shuttle” para o silo, que possui saídas com alimentadores de correia e britadores cônicos. Posteriormente esse produto britado, se juntará ao transportador e alimentará o peneiramento. O passante, com granulometria menor que 65 mm, será carregado pelo transportador de correia, que por meio de um divisor de fluxo irá dividir o material pelas duas correias que alimentarão o pátio da pilha pulmão e, alternativamente a correia de bypass da pilha pulmão.

O minério que se encontra na pilha pulmão, por meio de sistema de transportadores, será levado até um divisor de fluxo e transportado para até três silos de pré-moagem, com auxílio do transportador do tipo “shuttle”. A partir dessas estruturas alimentadores de correia equipados com detectores de metal, alimentarão três prensas de rolo da alta pressão (HPGR), esse produto será recolhido por transportadores de correia e levados a peneiras horizontais a úmido. O material retido nas peneiras voltará à alimentação das prensas de rolos e o passante bombeado para a moagem primária, para a pré-classificação do material, para essa etapa serão empregadas baterias de ciclones e moinhos de bolas.

3.2 Classificação

A classificação possui como objetivo a separação do produto da moagem primária em fluxos: grossos e finos. Ainda, o produto da moagem primária será classificado com o auxílio do ciclone, o overflow será direcionado por gravidade ao processo de deslamagem e o underflow, depois de peneirado horizontalmente, será recolhido e bombeado para a alimentação do circuito de pré-concentração magnética de grossos.

3.3 Pré-Concentração Magnética de Grossos

Para iniciar o processo, serão empregados separadores magnéticos a úmido de tambor de terras raras (WDRE), com objetivo de remover a magnetita. O material concentrado será posteriormente recolhido por bombas e bombeado para a remoagem e o rejeito abastecerá os separadores magnéticos de alto campo.

Após a retirada da hematita, a pré concentração magnética de grossos será constituída por separadores magnéticos a úmido de alto campo (WHIMS) do tipo carrossel. O rejeito desta etapa possuirá teor de ferro baixo e será bombeado com destino aos ciclones de desaguamento de rejeitos. Por sua vez os mistos serão bombeados para o circuito scavenger e o concentrado prosseguirá para a remoagem de grossos.

3.4 Deslamagem de finos

A deslamagem será feita pelo processo de floculação seletiva, onde serão geradas condições dispersantes para a polpa e adicionado floculantes, que em relação aos minerais de minério de ferro, são seletivos. O material ultrafino que é indesejável ficará retido em suspensão e em seguida serão removidos no overflow do espessadores, logo os minerais de ferro que são os desejáveis dos processos serão recolhidos no underflow.

Para a deslamagem serão empregados espessadores. A floculação seletiva emprega reagentes escolhidos com o propósito de flocular os grãos de minerais de ferro e remover, no fluxo, partículas finas indesejáveis, como a muscovita e quartzo fino. O overflow é direcionado, através da gravidade, com destino aos espessadores de lama e o underflow bombeado em direção a pré-concentração magnética de finos.

3.5 Pré-Concentração Magnética de Finos

Essa etapa ocorre com o campo magnético alto, a recuperação é elevada e o produto pode chegar a mais de 62% de ferro. Inicialmente a pré-concentração magnética de finos será realizada por meio de separadores magnéticos a úmido de tambor de terras raras (WDRE), para a retirada da magnetita. O concentrado será acondicionado em caixas de bombas e bombeado, com destino a remoagem e o rejeito abastecerá os separadores magnéticos de alto campo. E o rejeito dos WDRE será recolhido em caixas equipadas com uma bomba de polpa cada.

Em seguida a pré-concentração magnética de finos será formada por separadores magnéticos a úmido de alto campo (WHIMS). O rejeito desse processo possuirá baixo teor de ferro e será destinado para os ciclones de desaguamento de rejeitos. Os mistos vão para o espessador do circuito scavenger, por meio da gravidade. E o concentrado vai para a remoagem de finos bombeado.

3.6 Pré-Concentração Magnética Scavenger

Os mistos das concentrações anteriores (grossos e finos) são encaminhados para a pré-concentração magnética scavenger, como também o rejeito das flotações dos finos e grossos remoidos. Esse material passará por ciclones e, por gravidade, o overflow irá para o espessador, que receberá os fluxos scavenger da pré-concentração magnética de grossos, finos e o rejeito de ambas as flotações. O underflow do ciclone se juntará ao produto do espessador para abastecer o WHIMS. Para a pré-concentração magnética scavenger serão utilizados separadores magnéticos a úmido de alto campo (WHIMS). O rejeito de baixíssimo teor será bombeado para os ciclones de desaguamento de rejeitos. E o concentrado será bombeado, para se unir com o pré-concentrado magnético grosso.

3.7 Remoagem de Grossos e Finos

A remoagem de grossos será realizada nos produtos da pré-concentração magnética

de grossos e da pré concentração magnética scavenger. Esse processo é formado por baterias de ciclones, para a pré-classificação. O underflow alimentará os moinhos de bolas, em um circuito fechado com bomba de polpa e ciclones. O pré-concentrado grosso remoído passará em espessadores, para ser deslamado. O underflow dos espessadores será transportado através de bombas de polpa e o overflow para os espessadores de lama, por gravidade.

A remoagem de finos será realizada no produto da pré-concentração magnética de finos. Essa etapa é composta por baterias de ciclones para realizar a pré-classificação. O underflow alimentará um moinho de bolas em circuito fechado com bomba da polpa e ciclones. O pré-concentrado fino remoído será adensado, com o auxílio do espessador. O underflow do espessador será transportado pela bomba de polpa e o overflow será utilizado como água da diluição no processo de deslamagem de finos.

3.8 Flotação de Grossos e Finos

Para a separação dos minerais de minério e minerais de ganga, será empregada a flotação reversa, o coletor utilizado será amina e o floculante empregado será o amido. A flotação de grossos será realizada em duas linhas paralelas e iguais, o minério que nesta etapa se encontra remoído e deslamado em tanques condicionadores, que transbordará para o estágio rougher. O material afundado no estágio rougher é levado para o estágio cleaner. O material flutuado (estágios rougher e cleaner), por meio da gravidade, será transferido para o estágio scavenger 1. O flutuado no estágio cleaner será coletado em caixa e bombeado para as colunas recleaner. O rejeito das colunas recleaner será destinado à alimentação do estágio scavenger 1, por meio da gravidade. O flutuado no estágio scavenger 1 será processado no estágio scavenger 2. O material concentrado dos estágios scavenger 1 e 2 será bombeado por meio de bombas, com o objetivo de se unir à alimentação do estágio rougher. O rejeito originado no estágio scavenger 2 prosseguirá utilizando a gravidade até o espessador da pré-concentração magnética scavenger e o concentrado do estágio recleaner será bombeado com destino a espessador de concentrados.

Para a flotação de finos, o minério que se encontra remoído e deslamado no tanque condicionador, que transbordará com destino ao estágio rougher. O material flutuado no estágio rougher será recolhido em caixa e bombeado para as colunas recleaner. O flutuado pertencente aos estágios rougher e cleaner será levado através da gravidade para o estágio scavenger 1. O flutuado no estágio scavenger 1 será processado no estágio scavenger 2. O concentrado pertencente aos estágios scavenger 1 e 2 será bombeado para juntar à alimentação do estágio rougher e o concentrado do estágio cleaner será bombeado com destino ao espessador de concentrados.

3.9 Manuseio de rejeitos

O rejeito originado da pré-concentração magnética de grossos passará por baterias

de ciclones. O underflow será aproveitado como material de construção de barragens e o overflow será destinado para o espessador de rejeitos. O rejeito originado da pré-concentração magnética de finos passará pelos ciclones, onde o overflow será transportado, por gravidade, para o espessador de rejeitos. O rejeito da pré-concentração magnética scavenger será ciclonado, no qual o overflow será transportado, por gravidade, para o espessador de rejeitos e o underflow dos ciclones se juntará ao underflow do espessador para o lançamento no local de disposição final. A água utilizada no tanque de overflow do espessador de rejeitos servirá para o uso na pré-concentração magnética.

3.10 Rejeitoduto

O lançamento do rejeito será realizado de dois modos, o rejeito grosso e o rejeito total. O rejeito grosso é originado da pré-concentração magnética de grossos classificados na bateria de ciclones, onde o underflow é recolhido para aplicação na construção civil e quando não houver aplicação para este, será lançado juntamente com o rejeito total. Nos anos iniciais de operação, o transporte do rejeito total será por gravidade, devido à diferença de altura entre a usina e os reservatórios de rejeitos e quando não houver mais essa diferença, serão instaladas bombas de polpas para a adução do rejeito total.

3.11 Barragens

Uma característica marcante do Projeto Bloco 8 é o baixo teor médio de Ferro do material extraído e, então, tem-se a necessidade do tratamento e concentração do minério. Conseqüentemente, há a geração de alta quantidade de rejeitos que são compostos principalmente por quartzo, muscovita e água. Todavia, será instalada uma planta de reciclagem de rejeitos que ocupará uma área de 200M m². Neste projeto, prevê a geração de aproximadamente 1,5 Gt de rejeitos e 202 Mt de estéril que devem ser utilizados ou depositados adequadamente na área do empreendimento (RIMA, 2021).

A reciclagem dos rejeitos permite seu uso para finalidades benéficas para a região, como construção de estradas e construção civil, de forma que ao mesmo tempo reduzirá a quantidade de rejeito estocada e dinamizará a economia local. O material estéril retirado da área da mina será utilizado na construção dos corpos das barragens de rejeitos e para o aumento gradativo da altura dessas barragens (RIMA, 2021).

De acordo com o RIMA (2021), o projeto contará com duas barragens de rejeito, sendo que a barragem 1 está prevista uma ocupação de uma área de 2.151.192 m² e a barragem 2 uma área de 1.490.194,95 m². A barragem de rejeito 2 tem início de operação prevista para o primeiro ano de operação, e sua capacidade máxima está prevista para o ano 13 do empreendimento. Já a barragem 1, inicia sua operação a partir do 3º ano de empreendimento, e pode operar até o ano 7 sem a necessidade de alteamento. Na Figura 2, tem-se o mapa do complexo mineral, com destaque para as barragens de rejeito.

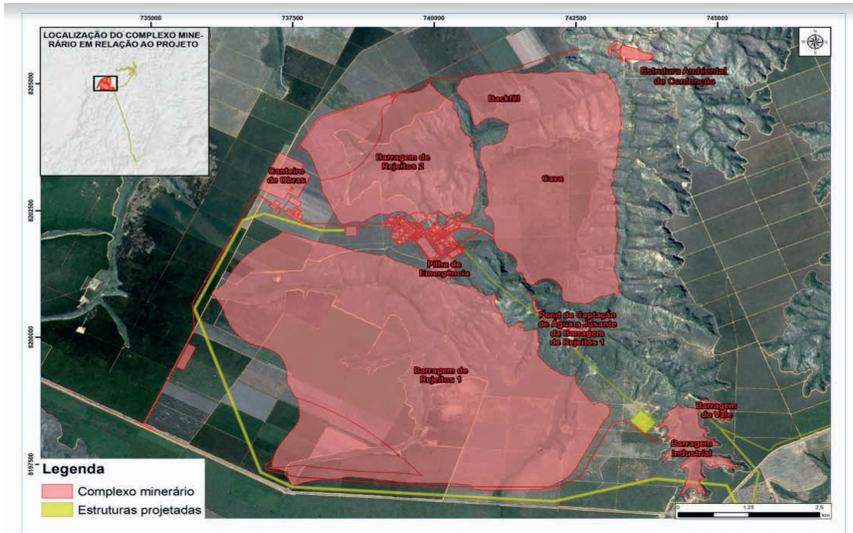


Figura 2: Mapa com as principais estruturas projetadas, incluindo as barragens de rejeito 1 e 2.

Fonte: RIMA (2021).

A definição do modelo de alteamento das barragens escolhido foi considerando que o método a montante está proibido em Minas Gerais desde 2016 e, também, a utilização de rejeitos mais grossos gerados no beneficiamento. Então, adotou-se o alteamento por linha de centro com o intuito de atender os 18 anos de vida útil e ainda, reduzir o volume total das duas barragens de rejeito e conseqüentemente, haverá uma redução da área de ocupação das mesmas. Na Figura 3, é possível comparar o método adotado, linha de centro, com o método a jusante (RIMA, 2021).

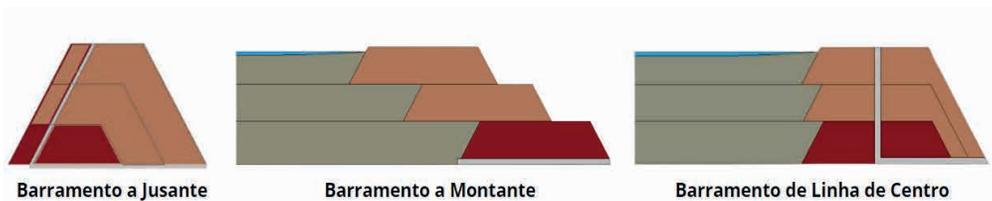


Figura 3: Métodos construtivos de barramentos.

Fonte: Adaptado de PASSOS (2009).

Portanto, esse método é a junção do alteamento do barramento à montante com o à jusante, acompanhando um eixo vertical sobre o rejeito depositado a montante e sobre o próprio barramento à jusante. Logo, o método da linha de centro é intermediário pois minimiza as desvantagens entre o método de montante e o de jusante (PASSOS, 2009).

3.12 Recirculação de água

Uma das propostas do projeto é que a água do rejeito de mineração venha a ser reciclada, onde o rejeito será desaguado nos processos de beneficiamento, através de ciclones e espessadores como mencionado anteriormente (RIMA, 2021).

A problemática de uso de água nos processos de beneficiamento é algo que sempre chama a atenção, como cita Leite (2011) a indústria de beneficiamento de minério de ferro chega a utilizar 6m^3 de água para cada tonelada de concentrado produzido pela usina, dependendo do tipo de instalação existente e do concentrado a ser produzido.

Na Figura 4 podemos observar um exemplo de sistema de recirculação de água em mineração de ferro similar ao citado pelo projeto, onde o caso demonstra um volume de água reaproveitado com índices de 80%. A relação entre a quantidade de água nova no processo e o seu reuso, variam conforme o processo/projeto, e o emprego desse tipo de água na indústria cresce de forma contínua (ANA, 2006).

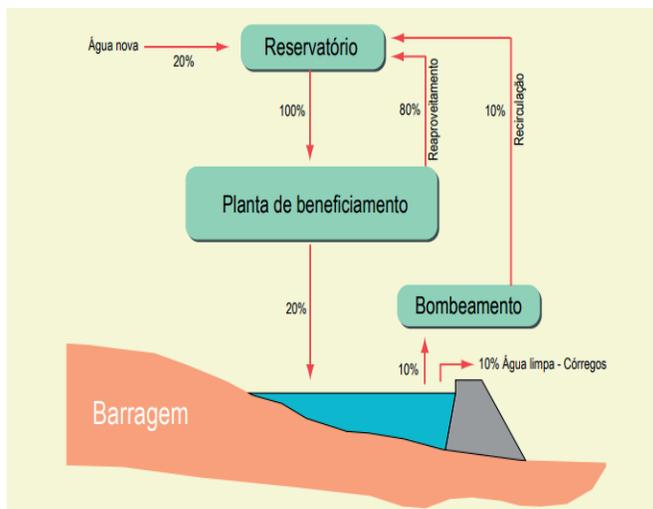


Figura 4: Esquema de utilização de água em uma mineração de ferro.

Fonte: ANA (2006).

A água nova representa uma demanda $5.171\text{ m}^3/\text{h}$ no empreendimento, onde destaca-se que a usina do Projeto Bloco 8 recirculará mais de 94% da água que irá consumir. O rejeito presente nas barragens também contará com sistemas internos a fim de drenar uma parcela da água descarregada com o rejeito, bem como aquela a se acumular com as chuvas (RIMA, 2021)

4 | CONCLUSÕES

O desenvolvimento e aplicação de tecnologias voltadas para o beneficiamento e aproveitamento do minério de ferro de baixo teor se faz necessário cada vez mais, posto que os depósitos de elevados teores estão se exaurindo e a demanda do ferro no contexto mundial continua elevada.

O projeto Bloco 8 é um empreendimento pioneiro tanto em relação à presença da atividade de mineração no Norte de Minas, quanto à tecnologia desenvolvida para o processamento mineral, recirculação de água e armazenamento dos rejeitos.

REFERÊNCIAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **A gestão dos recursos hídricos e a mineração**. Brasília, 2006. Disponível em: <https://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/a-gestao-dos-recursos-hidricos-e-a-mineracao.pdf>. Acesso em: 05 de mar. de 2023.

BRANDT Meio Ambiente. (2019). Eia - Estudo De Impacto Ambiental. **Caracterização do Empreendimento. Cap. 4**.

CARVALHO, P. S. L. *et al.* **Minério de Ferro**. 2014 Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/4802/1/BS%2039%20min%C3%A9rio%20de%20ferro_P.pdf. Acesso em: 04 de mar. de 2023.

CAXITO, F.; DIAS, T. G. **Ferro**. Recursos Minerais de Minas Gerais/CODEMGE. Disponível em: <http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/ferro/>. Acesso: 05 de mar. de 2023.

CLOUD, P. 1973. **Paleoecological significance of the banded iron formations**. Economic Geology, 68(7):1135–1143. doi: 10.2113/gsecongeo.68.7.1135

DORR J.V.N. II 1969. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. U.S.Geological Survey Professional Paper, 641-A, 117 p.

JAMES, H. L. **Sedimentary facies of iron formation**. Economic Geology. v. 49, n. 3, p. 235 – 293, 1954.

LEITE, W. P. **Recuperação e Recirculação de água no processamento mineral**. Monografia - CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS - CEERMIN. 2011. Disponível em <<http://hdl.handle.net/1843/BUOS-9C6HB5>>. Acesso em: 05 mar. 2023.

OLIVEIRA, A. C. da C. **Levantamento de dados de geologia, métodos de lavra e rotas de beneficiamento das principais mineradoras de ferro de Minas Gerais**. Orientador: Prof. Dr. Hildor José Seer. 2018. 49 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, Araxá. 2018.

PASSOS, N. C. S. T. (2009). **Barragem de Rejeito: Avaliação dos Parâmetros Geotécnicos de Rejeito de Minério de Ferro utilizando Ensaios de Campos—Um Estudo de Caso**. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.

UFOP. **Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero versão 2020**. 2019. Disponível em: <https://qfe2050.ufop.br/news/mapa-geologico-do-quadrilatero-ferrifero-versao-2019>. Acesso em 04 de mar. de 2023.

VILELA, F. T. **Caracterização de Metadiamicritos Ferruginosos da Formação Nova Aurora (Grupo Macaúbas, Orógeno Araçuaí) a oeste de Salinas, MG**. Orientador: Antônio Carlos Pedrosa-Soares. 2008. 135 f. Dissertação (Mestrado) – Curso Geologia econômica, Universidade Federal de Minas Gerais Instituto de Geociências Programa de Pós-graduação em Geologia, Belo Horizonte. 2010.

DESENVOLVIMENTO DE EMULSÕES FITOTERÁPICAS À BASE DE ÓLEOS VEGETAIS AMAZÔNICOS PARA POTENCIAL USO COMO BIOMATERIAL CUTÂNEO

Data de aceite: 02/05/2023

Caio Augusto de Almeida Canelas

Universidade Federal do Pará –
Faculdade de Biotecnologia – Grupo
de Desenvolvimento Tecnológico em
Biopolímeros e Biomateriais da Amazônia
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/9601042341734349>

Ailime Lobato Picanço de Melo

Universidade Federal do Pará –
Faculdade de Biotecnologia – Grupo
de Desenvolvimento Tecnológico em
Biopolímeros e Biomateriais da Amazônia
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/0109119164487012>

Tainara de Paula de Lima Lima

Universidade Federal do Pará –
Programa de Pós-graduação em Ciência
e Engenharia dos Materiais – Grupo
de Desenvolvimento Tecnológico em
Biopolímeros e Biomateriais da Amazônia
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/5776933232996487>

Viktor Oswaldo Cárdenas Concha

Universidade Federal de São Paulo –
Faculdade de Engenharia Química
Diadema – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/0661599261187131>

Ana Paula Drummond Rodrigues de Farias

Instituto Evandro Chagas, Ministério
da Saúde – Laboratório de Microscopia
Eletrônica
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/3251051891960297>

Marcele Fonseca Passos

Universidade Federal do Pará –
Faculdade de Biotecnologia – Programa
de Pós-graduação em Ciência e
Engenharia dos Materiais - Grupo
de Desenvolvimento Tecnológico em
Biopolímeros e Biomateriais da Amazônia
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/0588450144351187>

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo sintetizar uma emulsão de quitosana com os óleos vegetais amazônicos de Pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) e Jupati (*Raphia taedigera*) para uso como curativo cutâneo, buscando unir as características inerentes da quitosana, como sua atividade antibacteriana, e os efeitos benéficos dos compostos bioativos presentes nesses óleos. Para isso, inicialmente, a composição em ácidos graxos dos óleos foi avaliada por meio de cromatografia gasosa (CG),

seguido da síntese das emulsões e avaliação de sua estabilidade por meio de ensaios de centrifugação e visualização macroscópica. Microscopia óptica foi utilizada para avaliar a morfologia dos materiais e, espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) foi usada para identificação dos grupamentos funcionais das emulsões, a partir da interação óleo-polímero. Em ambos os óleos, o componente majoritário foi o ácido oleico. Ademais, o óleo de pracaxi também apresentou uma composição rica em ácido behênico. As emulsões se mostraram estáveis frente ao teste de centrifugação e avaliação macroscópica. Mas, as micrografias ópticas indicaram maior estabilidade do óleo de jupati, em função da formação de micelas menores e mais homogêneas, em relação às formadas pelo óleo de pracaxi. Por meio do FTIR, foram identificadas bandas características dos óleos vegetais na solução de quitosana, indicando, assim, a formação de emulsões fitoterápicas óleo-polímero.

PALAVRAS-CHAVE: quitosana, pracaxi, jupati, feridas cutâneas

ABSTRACT: This work aimed to synthesize an emulsion of chitosan with pracaxi Amazonian vegetable oils (*Pentaclethra macrobaloba*) and jupati (*Raphia taedigera*) for use as a dressing, seeking to unite the inherent characteristics of chitosan, such as their antibacterial activity, and the beneficial effects of those bioactive compounds present in these oils. For this, the composition of fatty acids in oils was initially evaluated by gas chromatography (CG), followed by the synthesis of emulsions and evaluation of their stability through macroscopic centrifugation and visualization tests. Optical microscopy was used to evaluate materials morphology, and infrared spectroscopy by Fourier transform (FTIR) was used to monitor the functional groups of emulsions via oil-political interaction. In both oils, the majority component was oleic acid. In addition, pracaxi oil also had a composition rich in behenic acid. Emulsions proved to be stable against the macroscopic centrifugation and evaluation test. But optical micrographs indicated greater stability of jupati oil, due to the formation of smaller and more homogeneous micelles, compared to those formed by pracaxi oil. Through the FTIR, the characteristic bands of vegetable oils were identified in the chitosan solution, thus indicating the formation of oil-polymer phytotherapy emulsions.

KEYWORDS: chitosan, pracaxi, jupati, skin wounds

1 | INTRODUÇÃO

A Amazônia é conhecida por sua vasta biodiversidade, com mais de 55 mil espécies de plantas conhecidas (ARAÚJO et al., 2022). Contudo, das 14 mil espécies de plantas que produzem sementes (CARDOSO et al., 2017), a maioria ainda permanece inexplorada. Isto evidencia a importância dos estudos etnobotânicos, cruciais para a coleta de informações referentes a plantas amazônicas, as quais podem possuir óleos vegetais voláteis e fixos.

Os óleos vegetais fixos são produtos naturais compostos, majoritariamente, de triglicerídeos (CARVALHO, 2017), detentores de grande importância no cenário industrial. Suas principais vantagens são: biodegradabilidade, acessibilidade, versatilidade e, principalmente, as propriedades biológicas (WAI et al., 2019). Os ácidos graxos, presentes nestes óleos, são elementos que lhes aferem propriedades lubrificantes, emolientes e anti-inflamatórias (BARBOSA et al., 2019). Além disso, promovem a restauração da oleosidade

natural da pele e a protege contra danos externos ambientais (BANOV et al., 2014), favorecendo a manutenção de um ambiente propício à cicatrização. O óleo de pracaxi, por exemplo, possui efeito cicatrizante (LUÍSA AGUIAR GUIMARÃES et al., 2016), e as propriedades antimicrobianas, antioxidantes e anti-inflamatórias são atribuídas aos altos índices de ácidos oleico, linoleico e behênico (BANOV et al. 2014). Segundo Awonyemi et al., (2020), o óleo de jupati possui atividade anti-inflamatória, antioxidante, antimicrobiana e antitumoral. Assim, os óleos vegetais fixos amazônicos podem ser considerados potenciais aditivos aos biomateriais, principalmente, no tratamento de lesões cutâneas.

Biomateriais podem ser definidos como qualquer material capaz de auxiliar na detecção ou tratamento de doenças (HODGE et al., 2022). Ou seja, são dispositivos destinados a entrar em contato com sistemas biológicos, como por exemplo, dispositivos biomédicos (biossensores, tubos de circulação sanguínea etc.), materiais implantáveis (suturas, placas, substitutos ósseos etc.), dispositivos para liberação de medicamentos (filmes, implantes subdérmicos e partículas), órgãos artificiais (coração, rim, pele etc.) e curativos (PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015). Dentre tais aplicações, o uso potencial de biomateriais poliméricos na cicatrização de feridas (FERREIRA et al., 2022) e na produção de curativos modernos (CHEN et al., 2021), os quais atuam de acordo com a origem, o tipo e estágio da lesão (SAMPAIO et al., 2018), são alvos de diversos estudos. A escolha do tipo de biomaterial para a aplicação no tratamento de cicatrização cutânea também é importante e, principalmente, deve ser biocompatível, evitando reações inflamatórias no organismo. O uso de produtos químicos tóxicos, por exemplo, durante a síntese ou processamento de alguns curativos ainda é comum, gerando forte preocupação dos pesquisadores (ZHAO et al., 2022).

Dentre os materiais poliméricos mais utilizados como biomateriais no tratamento de feridas, destaca-se a quitosana, um polímero natural, obtido pela desacetilação alcalina da quitina (N -acetilglucosamina)(RAHIMI et al., 2022). Adicionalmente, a quitosana, e sua natureza catiônica, possui diversas propriedades biológicas, tais como: biodegradabilidade enzimática, não toxicidade e biocompatibilidade, além de ter propriedades anticâncer, antioxidante e antibacteriana (AL-ROOQI et al., 2022). Nessa última perspectiva, a quitosana demonstra efeitos significativos contra bactérias gram-negativas e gram-positivas na cicatrização de feridas. O potencial microbiano se deve, principalmente, ao peso molecular, grau de desacetilação, N-substituição etc. (ROJO et al., 2022). Segundo Zhang et al., (2021), a quitosana é altamente eficaz contra uma variedade de fungos e bactérias, sendo interessante na área biomédica, para aplicações como reconstituição óssea, liberação controlada de drogas e encapsulamento de materiais. Isto, pois, a maioria dos dispositivos compostos por quitosana (géis, filmes etc.) possuem efeitos antibacterianos (FAKHRI et al., 2020), e são de fácil funcionalização. Além disso, a quitosana pode ser associada a vários compostos bioativos naturais, oriundos da biodiversidade amazônica, permitindo o desenvolvimento de produtos diferenciados, com potencial diverso na biomedicina (RAHIMI

et al., 2022).

Diante disso, no presente artigo, buscou-se unir as características inerentes da quitosana aos óleos vegetais fixos amazônicos, de Pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) e Jupati (*Raphia taedigera*), via desenvolvimento de emulsões para potencial uso como biocurativo cutâneo.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta o resumo gráfico do desenvolvimento e caracterização das emulsões de quitosana com os óleos de jupati e pracaxi.

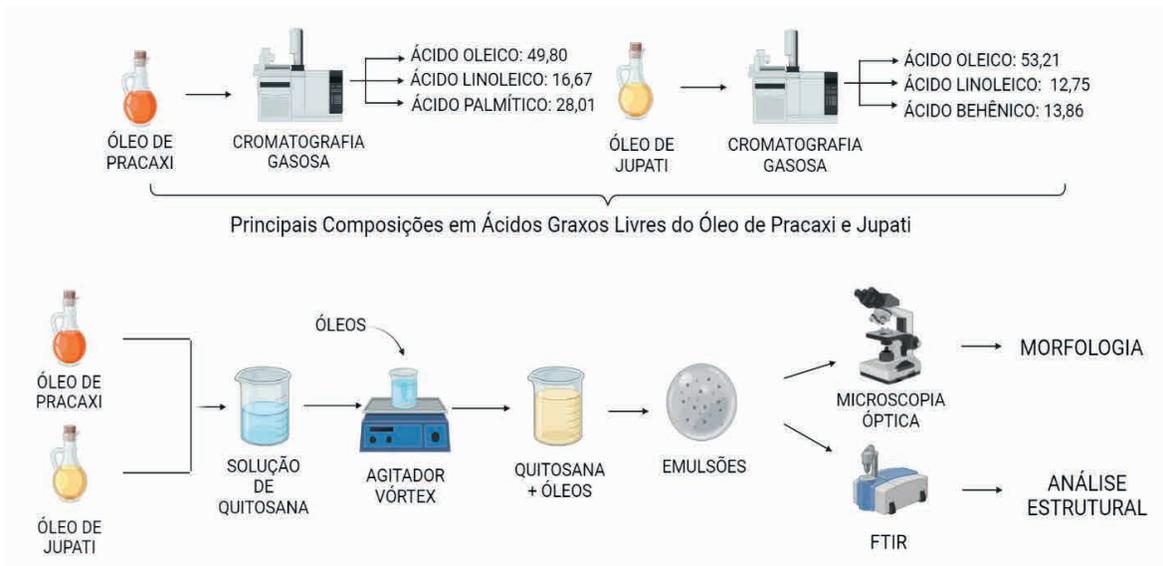


Figura 1. Fluxograma do processo de desenvolvimento e caracterização das emulsões de quitosana e óleos vegetais de jupati e pracaxi

2.1 Materiais

Quitosana comercial (CAS: 9012–76–4), peso molecular médio 190.000 –310.000 Da e grau de desacetilação na faixa de 75–85%, foi obtida da Êxodo Científica, São Paulo, Brasil. Óleo de Pracaxi (OP) (*Pentaclethra macroloba*) foi obtido pela empresa Amazon Oil (Belém, PA). Óleo de Jupati (OJ) (*Raphia taedigera*) foi doado pela empresa CitroBio (Torrinha, SP). As especificações técnicas dos óleos estão descritas na Tabela 1.

Características	Pracaxi	Jupati
Aparência (25°C)	Líquido	Líquido Viscoso
Cor	Amarelo translúcido	Vermelho a marrom
Odor	Característico	Característico
Densidade	0,909-0,998 (25°C g/ml)	0,900 a 0,930 (25°C g/ml)
Índice de refração (20°C)	1,461-1,589	1,360 a 1,480
Índice de acidez	< 20,0 (mg KOH/g)	10%
Índice de peróxido	< 15,0 (meq O ₂ /kg)	15 (meq O ₂ /kg)
Índice de iodo	50-77 gI ₂ /100g	80 a 90 (g ₂ /100g)
Índice de saponificação	175-188 mgKOH/g	190 a 230 (mgKOH/g)
Ponto de fusão	18,5 °C	-
Matéria insaponificável (bioativos)	< 2%	10%

Tabela 1. Especificações técnicas dos óleos de Pracaxi e Jupati, segundo fornecedores (Amazon Oil e CitroBio)

2.2 Metodologia

2.2.1 Síntese das emulsões

Pó de quitosana foi solubilizado em solução de ácido acético 1% v/v, na concentração de 3% m/v, sob agitação magnética por 24 horas. Diferentes concentrações (3 e 5% m/v) dos óleos de pracaxi e jupati foram, então, adicionadas com o auxílio de um agitador vórtex (GEHAKA, modelo: AV-2 82328) por 30 minutos a 2500 rpm, para a obtenção das emulsões descritas na Tabela 2.

Identificação	Emulsões*
CHT	Quitosana
J3	Quitosana / Jupati a 3% m/v
J5	Quitosana / Jupati a 5% m/v
P3	Quitosana / Pracaxi a 3% m/v
P5	Quitosana / Pracaxi a 5% m/v

*Quitosana a concentração constante de 3% m/v

Tabela 2. Identificação das amostras

2.2.2 Caracterização

A composição em ácidos graxos livres dos óleos de jupati e pracaxi foi avaliada por meio de cromatografia gasosa (CG). As amostras (óleos fixos) foram primeiramente esterificadas segundo o método de LUDDY et al. (1960), e injetadas em um cromatógrafo gasoso GC 2010 (Shimadzu Corporation), equipado com uma coluna TG – WAX 30.0m x 0.32mm (California - USA) e um detector de ionização de chama (FID), com temperatura definida a 270 °C. Hélio foi usado como gás de arraste, com fluxo de 1 mL. min⁻¹ e volume de injeção de 1 µL (modo split, 1:10). A rampa de temperatura do forno foi de 50° a 250° C, com razão de 10° C.min⁻¹. A temperatura foi mantida por 8 min, e os ácidos graxos foram analisados através do software GC Solution Shimadzu. A estabilidade das emulsões foi avaliada usando uma centrífuga (NT 810 Novatécnica), em ciclos de 6000 rpm por 5, 10 e 15 minutos. As emulsões foram avaliadas macroscopicamente, por oito semanas, a cada sete dias, a 4°C. Em seguida, foram observadas em microscópio óptico (Zeiss LSM 700). Imagens digitais foram obtidas com aumento de 400x. Espectros FTIR de CHT e CHT/ óleos foram obtidos usando um espectrofotômetro modelo Nicolet™ iS™ 5 FTIR da Thermo Scientific, na faixa de 4.000 a 650 cm⁻¹, com resolução de 8 cm⁻¹ e 32 varreduras.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição em ácidos graxos do OP e OJ por cromatografia gasosa (CG)

A Tabela 3 contém os valores correspondentes, aos percentuais relativos, de cada constituinte específico dos óleos (ácidos graxos). Os óleos de pracaxi e jupati apresentaram abundante composição em ácidos graxos insaturados (ácido oleico, palmitoleico, linoleico e linolênico), correspondendo a 66,2% e 68,4%, respectivamente. Tais compostos auxiliam no processo de cicatrização, através do aumento da neovascularização da região, favorecendo a migração celular, a remodelagem da matriz celular e a diferenciação de fibroblastos (REKIK, 2019).

Os óleos de pracaxi e jupati apresentaram, majoritariamente, o ácido oleico (ômega 9), muito utilizado na indústria cosmética e farmacêutica (FERREIRA, 2022), devido às propriedades emolientes (BRUNO, 2022; MUDGIL, 2019) e à potencial permeabilidade dos compostos na pele. O ácido oleico também é considerado um excipiente farmacêutico multifuncional (ATEF, 2022), assumindo o papel de auxiliar ou garantir a absorção e/ou estabilidade de compostos e fármacos (BACHAREL, 2022). Além disso, o ácido oleico e os ácidos graxos poliinsaturados, como o ácido linoleico, são conhecidos por sua atividade antibacteriana (DAS, 2018; DILIKA; BREMNER; MEYER, 2000). Nengroo e colaboradores (2020) concluíram, em seu estudo, que espécies vegetais ricas em ácidos oleico e linolênico são uma importante fonte de fungicidas e bactericidas naturais. Em acréscimo, uma elevada porcentagem de ácido behênico (~14%) foi encontrada no óleo de pracaxi,

sendo um importante composto cicatrizante para auxiliar a renovação celular (REBELLO, 2019).

Ác. Graxo	Cadeia	Composição Pracaxi	Composição Jupati
Ác. Cáprico	C8:0	0,02	-
Ác. Láurico	C12:0	0,70	0,46
Ác. Mirístico	C14:0	0,64	0,31
Ác. Palmítico	C16:0	2,87	28,01
Ác. Palmitoleico	C16:1	0,15	0,48
Ác. Margárico	C17:0	0,05	-
Ác. Esteárico	C18:0	3,44	1,45
Ác. Oleico	C18:1	53,21	49,80
Ác. Linoleico	C18:2	12,75	16,67
Ác. Linolênico	C18:3	0,12	0,62
Ác. Araquídico	C20:0	0,91	0,44
Ác. Eicosanoico	C20:0	1,46	-
Ác. Henicosanoico	(C21:0)	0,02	-
Ác. Behênico	(C22:0)	13,86	0,33
Ác. Tricosanoico	(C23:0)	0,12	-
Ác. Lignocérico	(C24:0)	9,68	0,39
Ác. Pentadecanoico	(C15:0)	-	0,18
Ác. Erúcido	(C22:1)	-	0,87
TOTAL		100	100

Tabela 3. Composição (%) em ácidos graxos livres dos óleos de pracaxi e jupati

3.2 Estabilidade das emulsões

Vários são os parâmetros utilizados para avaliar a estabilidade de uma emulsão, incluindo o aspecto macroscópico. As emulsões J3, J5, P3 e P5 se apresentaram estáveis sob refrigeração e uso de força centrífuga. Aceleradas via aumento da força gravitacional, não apresentaram instabilidades no aspecto visual - sem formação de fases. As gotículas dos óleos dispersas se apresentaram uniformemente distribuídas, com aspecto visual homogêneo e opacas. Não houve qualquer outro sinal de desestabilização, como o fenômeno de cremeação (COLUCCI et al., 2020).

3.3 Microscopia Óptica

Na Figura 2, é possível observar que, de forma geral, as amostras apresentaram morfologia com gotículas esféricas pequenas, bem definidas e homogêneas, de acordo com

a concepção das micelas (BRILHANTE, 2022). Resultados similares foram encontrados por MARAGON (2015), usando óleo de copaíba.

Os materiais contendo OJ (J3 e J5) evidenciaram uma redução no tamanho das gotículas, maior uniformidade e melhor dispersão do ativo, sem a presença de agregados. Isto pode sugerir melhor estabilidade e distribuição das gotículas em relação as emulsões com OP (P3 e P5) (NACCACHE, 2021), as quais apresentaram possível floculação. Ou seja, houve colisão entre as gotículas da fase interna, formando uma associação fraca e reversível, mas de pouca gravidade para a estabilidade da emulsão. Esse fenômeno pode ter sido provocado em função da concentração dos ácidos behênico e lignocérico no óleo de pracaxi, com cadeias de 22 e 24 carbonos, respectivamente. Em termos do teor de óleos (3 e 5% m/v), não foi possível afirmar efeito significativo na redução ou aumento do tamanho das gotículas para as amostras J3 e J5.

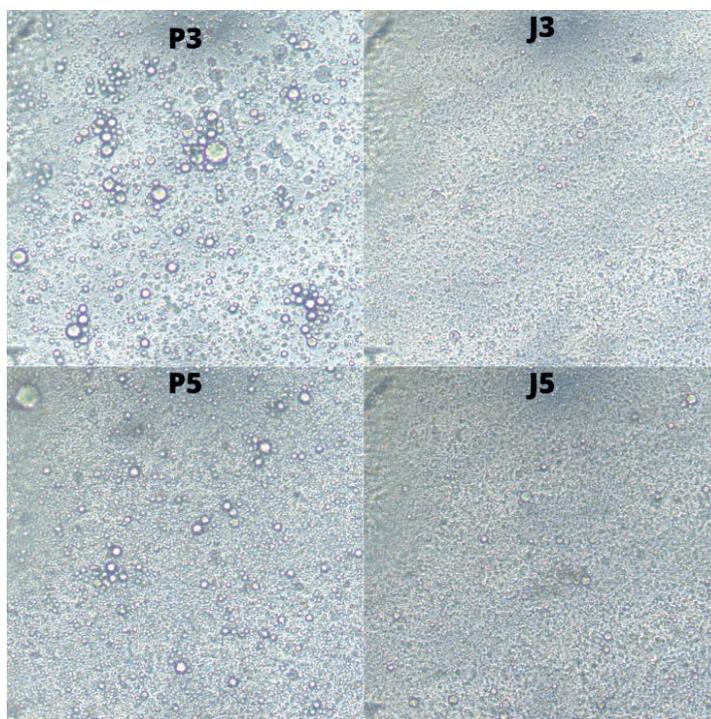


Figura 2. Microscopia óptica da quitosana (CHT) e emulsões J3, J5, P3 e P5 a aumento de 400x

3.4 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Nas Figuras 3A e 3B, é possível observar os espectros FTIR dos óleos vegetais fixos puros (OJ e OP), da quitosana pura (CHT) e das emulsões de quitosana / óleos (J3, J5, P3 e P5), respectivamente. Nos espectros dos óleos (Fig. 3A), a banda acima de $3007,92\text{ cm}^{-1}$, pode estar relacionada aos grupos funcionais hidroxila dos constituintes ácidos existentes

na cadeia dos triacilgliceróis (FERREIRA et al., 2020). Óleos vegetais com maior teor de grupos acil linoleicos ou linolênicos, contudo, tendem a apresentar esta banda de forma mais proeminente no espectro FTIR (KAUR et al., 2019). A $2923,09\text{ cm}^{-1}$ e $2855,09\text{ cm}^{-1}$ são observadas bandas características das ligações de estiramento simétrico e assimétrico dos grupos metilenos (BÖLGEN et al., 2020; KOCABAY; AKKAYA, 2020; VERMA et al., 2021). Em 1377 cm^{-1} e $1240,49\text{ cm}^{-1}$ podem ser vistas bandas atribuídas ao modo de flexão simétrico da ligação CH, e ao estiramento dos grupos ésteres (-C=O), respectivamente (KAUR et al., 2019; KHARBACH et al., 2021).

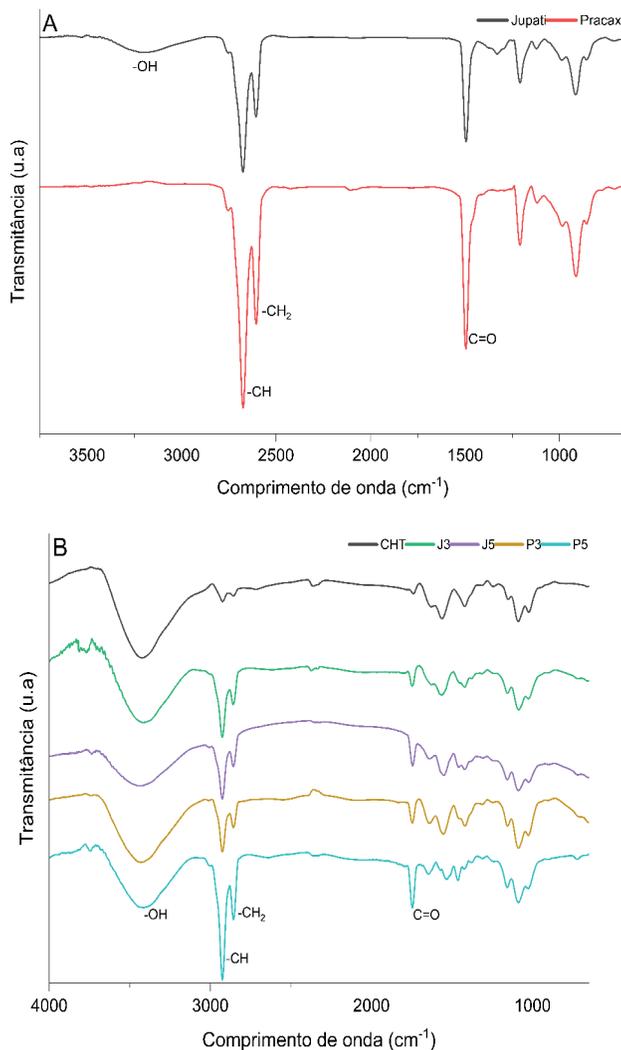


Figura 3. Espectros FTIR: (A) óleos de jupati e pracaxi; (B) quitosana pura (CHT), quitosana/jupati a 3% de óleo (J3), quitosana/jupati a 5% de óleo (J5), quitosana/pracaxi a 3% de óleo (P3) e quitosana/pracaxi a 5% óleo (P5)

Na Figura 3B, uma banda larga, característica da quitosana pura (CHT), foi observada na região entre 3693,50 e 3126,53 cm^{-1} , relacionada às vibrações de estiramento do grupamento hidroxila (-OH) e da ligação N-H (CHUNG; CHEN; WU, 2022; STOLERU et al., 2021). Bandas na faixa de 1640,0 e 1650,0 cm^{-1} , a 1561,58 cm^{-1} e na região de 1451,65 cm^{-1} podem ser atribuídas, respectivamente, à deformação da ligação C=O (amida I), à deformação angular da ligação N-H (amida II) e a deformação dos grupos CH_2 e OH (FERREIRA et al., 2020).

Espectros das amostras J3, J5, P3 e P5 apresentaram bandas características da quitosana pura (CHT) associadas às bandas dos respectivos óleos (jupati e pracaxi). Um aumento na intensidade das bandas das emulsões na região de 2925,97 cm^{-1} e de 1746,23 cm^{-1} em relação a CHT pura foi observado. A incorporação dos óleos levou a um aumento na intensidade dos grupos metilenos e carbonilas (SALAMA; ABDEL AZIZ; SABAA, 2019). Adicionalmente, verificou-se uma mudança da forma da banda a 1645,46 cm^{-1} , conforme aumento da concentração do triacilglicerol. Estes dados corroboraram com a formação da emulsão óleo-polímero.

4 | CONCLUSÃO

Emulsões a base de quitosana com óleos vegetais fixos da biodiversidade brasileira (Jupati e Pracaxi) foram obtidas com sucesso e apresentaram gotículas esféricas e dispersas. Separação de fases e cremação não foram observadas por avaliação macroscópica. O fenômeno de floculação, por sua vez, foi verificado nas emulsões com OP, via microscopia óptica, ainda que represente baixa gravidade na estabilidade do sistema. Tais resultados são interessantes, pois a estabilidade impacta diretamente no armazenamento, transporte e aplicação dos sistemas emulsionados. Adicionalmente, os ácidos graxos presentes nos óleos, e confirmados nos espectros FTIR, como compostos bioativos, têm potencial aplicação no processo de cicatrização de feridas cutâneas. Teste futuros de citotoxicidade das emulsões, e em modelos experimentais de cicatrização *in vitro*, no entanto, são necessários.

REFERÊNCIAS

AL-ROOQI, M. M. et al. **Advancement of chitin and chitosan as promising biomaterials.** *Journal of Saudi Chemical Society* Elsevier B.V., 1 nov. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Guia de estabilidade de produtos cosméticos.** Brasília: ANVISA, 2004.

ARAÚJO, T. V. M. D. et al. A construção do atlas botânico medicinal em tempos de pandemia da COVID-19: um relato de experiência sobre o combate a sintomas gripais em tempos de pandemia. *Diversitas Journal*, v. 7, n. 3, p. 1275–1293, 2022.

- ATEF, B. et al. **Exploring the potential of oleic acid in nanotechnology-mediated dermal drug delivery: An up-to-date review.** *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, v. 67, p. 103032, 2022.
- AWONYEMI, I. O.; ABEGUNDE, S.; OLABIRAN, E. P a g e | 9 3 8 Analysis of bioactive compounds from *Raphia taedigera* using gas chromatography-mass spectrometry. **Eurasian Chem. Commun**, v. 2, p. 938–944, 2020.
- BACHAREL, A. P. R. **Alérgenos potenciais em excipientes farmacêuticos.** 2022.
- BANERJEE, K. et al. Anti-inflammatory and wound healing potential of a clove oil emulsion. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 193, 1 set. 2020.
- BANOV, D.; BANOV, F.; BASSANI, A. S. Case Series: The Effectiveness of Fatty Acids from Pracaxi Oil in a Topical Silicone Base for Scar and Wound Therapy. **Dermatology and Therapy**, v. 4, n. 2, p. 259–269, 1 dez. 2014.
- BARBOSA, M. O. et al. Composition of fatty acids, tocopherols, tocotrienols and β -carotene content in oils of seeds of Brazilian Sapindaceae and Meliaceae species. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 6, p. 3164–3169, 1 jun. 2019.
- BÖLGEN, N. et al. Development of Hypericum perforatum oil incorporated antimicrobial and antioxidant chitosan cryogel as a wound dressing material. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 161, p. 1581–1590, 2020.
- BRILHANTE, F. D. F. et al. **Influência da velocidade de agitação na estabilidade de emulsões de quitosana com óleo de eucalyptus citriodora.** OPEN SCIENCE RESEARCH II, v. 2, n. 1, p. 562-575, 2022.
- BRUNO, M. C. et al. **Oleic acid-based vesicular nanocarriers for topical delivery of the natural drug thymoquinone: Improvement of anti-inflammatory activity.** *Journal of Controlled Release*, v. 352, p. 74-86, 2022.
- CARDOSO, D. et al. Amazon plant diversity revealed by a taxonomically verified species list. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 114, n. 40, p. 10695–10700, 3 out. 2017.
- CHEN, T. Y. et al. Cryogel/hydrogel biomaterials and acupuncture combined to promote diabetic skin wound healing through immunomodulation. **Biomaterials**, v. 269, 1 fev. 2021.
- CHUNG, C. C.; CHEN, H. W.; WU, H. T. Discussions on the Properties of Emulsion Prepared by Using an Amphoteric Chitosan as an Emulsifier. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 12, n. 10, 2022.
- COLUCCI G, S-E. A., et al. Development of Water-in-Oil Emulsions as Delivery Vehicles and Testing with a Natural Antimicrobial Extract. **Molecules**. 30;25(9):2105, 2020.
- CRISTINA. S. et al. AVANÇOS NO DESENVOLVIMENTO DE BIOMATERIAIS VISANDO TRATAMENTO DE FERIDAS CRÔNICAS. **Hegemonia: Revista de Ciências Sociais**, n. 25 (Especial), 2018, pp. 70-105

DAS, U. N. **Arachidonic acid and other unsaturated fatty acids and some of their metabolites function as endogenous antimicrobial molecules: A review.** Journal of advanced research, v. 11, p. 57-66, 2018.

DE, A. C.; CARVALHO, O. **Características físico-químicas de óleos vegetais comestíveis puros e adulterados.** Monografia da Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 2017

FERREIRA, E. DA S. et al. Synthesis and Characterization of Natural Polymeric Membranes Composed of Chitosan, Green Banana Peel Extract and Andiroba Oil. **Polymers**, v. 14, n. 6, 1 mar. 2022.

FERREIRA, M. O. G. et al. Biocompatible gels of chitosan-buriti oil for potential wound healing applications. **Materials**, v. 13, n. 8, p. 1–17, 2020.

HODGE, J. G. et al. Evaluating polymeric biomaterials to improve next generation wound dressing design. **Biomaterials Research** BioMed Central Ltd, 1 dez. 2022.

KAUR, A. et al. Chemical, thermal, rheological and FTIR studies of vegetable oils and their effect on eggless muffin characteristics. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 7, p. 1–11, 2019.

KHARBACH, M. et al. Talanta New insights into the Argan oil categories characterization :Chemical descriptors, FTIR fingerprints, and chemometric approaches. **Talanta**, v. 225, n. January, p. 122073, 2021.

KOCABAY, S.; AKKAYA, B. Preparation of sulfatide mimicking oleic acid sulfated chitosan as a potential inhibitor for metastasis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 147, p. 792–798, 2020.

LUDDY, F. E.; BARFORD, R. A.; RIEMENSCHNEIDER, R. W. Direct conversion of lipid components to their fatty acid methyl esters. Journal of the American Oil Chemists' Society, v. 37, n. 9, p. 447-451, 1960.

GUIMARÃES, L. A. et al. **PEER REVIEWED International Journal of Pharmaceutical Compounding.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.IJPC.com>.

MARANGON, C.A. **Atividade antimicrobiana e citotoxicidade de emulsões de quitosana/gelatina/ óleo de copaíba.** 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MUDGIL, P. **Biophysical interaction of oleic acid with tear lipids at an air-tear interface.** Investigative Ophthalmology & Visual Science, v. 60, n. 9, p. 4710-4710, 2019.

NACCACHE, M. F. **Análise do efeito da distribuição do tamanho de gotas na estabilidade de emulsões água em óleo.** 2021. Tese de Doutorado. PUC-Rio.

NENGRÖÖ, Z. R. et al. **Evaluation of fatty acid composition and antimicrobial activity of eight medicinal plants from Kashmir.** Oriental Journal of Chemistry, v. 36, p. 44-53, 2020.

PIRES, A. L. R.; BIERHALZ, A. C. K.; MORAES, Â. M. **Biomaterials: Types, applications, and market.** *Quimica Nova* Sociedade Brasileira de Química, 1 ago. 2015.

RAHIMI, M. et al. **Chitosan-based biomaterials for the treatment of bone disorders**. *International Journal of Biological Macromolecules*. Elsevier B.V., 31 ago. 2022.

REBELLO, T. **Guia de produtos cosméticos**. Editora Senac São Paulo, 2019.

REKIK, D. M. et al. **Wound healing effect of Lawsonia inermis**. *Skin Pharmacology and Physiology*, v. 32, n. 6, p. 295-306, 2019.

ROJO, L. et al. **Antimicrobial polymeric biomaterials based on synthetic, nanotechnology, and biotechnological approaches**. *Current Opinion in Biotechnology*. Elsevier Ltd, , 1 ago. 2022.

SALAMA, H. E.; ABDEL AZIZ, M. S.; SABAA, M. W. Development of antibacterial carboxymethyl cellulose/chitosan biguanidine hydrochloride edible films activated with frankincense essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 139, p. 1162–1167, 2019.

SIEBEN, P. G.; WYPYCH, F.; DE FREITAS, R. A. Oleic acid as a synergistic agent in the formation of kaolinite-mineral oil Pickering emulsions. *Applied Clay Science*, v. 216, n. December 2021, p. 106378, 2022.

STOLERU, E. et al. Development of Bioactive Polymeric Materials by Incorporation of Essential/Vegetal Oils into Biopolymer Matrices. p. 25, 2021.

VERMA, M. et al. Efficient photocatalytic degradation of Malachite green dye using facilely synthesized cobalt oxide nanomaterials using citric acid and oleic acid. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, v. 155, n. April, p. 110125, 2021.

WAI, P. T. et al. **Catalytic developments in the epoxidation of vegetable oils and the analysis methods of epoxidized products**. *RSC Advances*. Royal Society of Chemistry, 2019.

ZHANG, C. et al. **Preparation and application of chitosan biomaterials in dentistry**. *International Journal of Biological Macromolecules*. Elsevier B.V., 15 jan. 2021.

ZHAO, B. et al. Hofmeister effect-enhanced gelatin/oxidized dextran hydrogels with improved mechanical properties and biocompatibility for wound healing. *Acta Biomaterialia*, v. 151, p. 235–253, 1 out. 2022.

CAPÍTULO 5

ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO, FUNDAMENTOS, CONCEITOS, TENDÊNCIAS E UM CASO DE RISCO REAL NO ENSINO DE ELETRÔNICA

Data de aceite: 02/05/2023

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica PP/
CP
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Ronie Ribeiro Camargo

Etec 066 - Jacinto Ferreira de Sá –
Ourinhos - SP
<http://lattes.cnpq.br/6299821609134231>

Carolina Ribeiro Rodrigues

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná, Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica (DAELE) – Cornélio
Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/4555794908984441>

Janáina Fracaro de Souza Gonçalves

PPGEM-CP - Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica PP/
CP
<http://lattes.cnpq.br/1857241899832038>

Andressa Haiduk

Dimension Engenharia, Ponta Grossa PR
<http://lattes.cnpq.br/2786786167224165>

Rodrigo Rodrigues Sumar

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná, Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica (DAELE) – Cornélio
Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/1461760661483683>

Ricardo Breganon

Instituto Federal do Paraná, Campus
Jacarezinho, -Jacarezinho - PR
<http://lattes.cnpq.br/2441043775335349>

Vicente de Lima Gongora

Faculdade da Industria Senai - Londrina
- PR
<http://lattes.cnpq.br/6784595388183195>

Edinei Aparecido Furquim dos Santos

Centro universitário Uningá – Maringá -
PR
<http://lattes.cnpq.br/8706436030621473>

Fábio Nogueira de Queiroz

Centro Paula Souza
Faculdade de Tecnologia (FATEC) –
Tatuá - SP
Escola Técnica Estadual (Etec) – Ourinhos
-SP
<http://lattes.cnpq.br/4466493001956276>

Renato Augusto Pereira Lima

Inspetor Chefe da regional CREA Londrina – Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/3518337122740114>

Wagner Fontes Godoy

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE), Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/7337482631688459>

Kazuyochi Ota Junior

Mestrando - PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica CP – Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

Andre Luis Shiguemoto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE) - Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/9243656534211182>

Francisco de Assis Scannavino Junior

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE) - Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

José Augusto Fabri

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Computação (DACOM) - Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/1834856723867705>

Jancer Frank Zanini Destro

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE) - Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/9441194382598647>

RESUMO: Este artigo destaca como a robótica tem sido usada para melhorar a segurança e a eficiência do trabalho em diversas indústrias. Por exemplo, robôs como o Spot da Boston Dynamics podem realizar inspeções em locais de difícil acesso, enquanto na indústria automotiva, robôs são utilizados para tarefas perigosas como soldagem e pintura. Na indústria da construção, robôs são usados para tarefas como demolição e inspeção, reduzindo o risco de acidentes e doenças ocupacionais. Além disso, os robôs podem realizar tarefas mais simples e repetitivas, permitindo que os trabalhadores se concentrem em tarefas que exigem habilidades específicas, o que aumenta a eficiência e produtividade dos processos. E finalmente conclui e sugere futuras pesquisas

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia de Segurança, Robótica, Robôs em aplicações inóspitas.

WORKPLACE SAFETY ENGINEERING, FUNDAMENTALS, CONCEPTS, TRENDS AND A REAL RISK CASE IN ELECTRONICS EDUCATION.

ABSTRACT: This article highlights how robotics has been used to improve safety and efficiency in various industries. For example, robots like Boston Dynamics' Spot can perform inspections in hard-to-reach areas, while in the automotive industry, robots are used for dangerous tasks such as welding and painting. In the construction industry, robots are used for tasks such as demolition and inspection, reducing the risk of accidents and occupational diseases. Additionally, robots can perform simpler and repetitive tasks, allowing workers to focus on tasks that require specific skills, which increases efficiency and productivity of processes. Finally, the article concludes and suggests future research.

KEYWORDS: Safety Engineering, Robotics, Robots in inhospitable applications

1 | INTRODUÇÃO

A engenharia de segurança é um campo que pode ser aplicado em diversas áreas da engenharia, cada uma com seus objetivos e motivações específicos. A seguir, segundo (CAMILA, 2023) pode-se citar alguns exemplos:

Engenharia de Software: Na engenharia de software, a engenharia de segurança tem como objetivo garantir a segurança dos sistemas de software, incluindo a identificação de vulnerabilidades e a implementação de controles e políticas de segurança. A motivação por trás da engenharia de segurança em engenharia de software é proteger os sistemas de software contra ataques maliciosos e garantir a confiabilidade e disponibilidade dos sistemas.

Engenharia Elétrica: Na engenharia elétrica, a engenharia de segurança tem como objetivo garantir a segurança dos sistemas elétricos e eletrônicos. A motivação por trás da engenharia de segurança em engenharia elétrica é minimizar o risco de choques elétricos, incêndios e outras situações perigosas que possam ocorrer em sistemas elétricos.

Engenharia de Redes: Na engenharia de redes, a engenharia de segurança tem como objetivo garantir a segurança das redes de computadores e dos sistemas que utilizam essas redes. A motivação por trás da engenharia de segurança em engenharia de redes é proteger as informações confidenciais e os sistemas críticos que utilizam as redes contra ataques maliciosos, como invasões, sequestros de dados e roubo de informações.

Engenharia Mecânica: Na engenharia mecânica, a engenharia de segurança tem como objetivo garantir a segurança de equipamentos mecânicos e sistemas industriais. A motivação por trás da engenharia de segurança em engenharia mecânica é minimizar o risco de acidentes, garantir a conformidade com as normas e regulamentações de segurança e garantir a integridade dos sistemas mecânicos.

Em resumo, a engenharia de segurança pode ser aplicada em diferentes áreas da engenharia, cada uma com suas próprias motivações e objetivos específicos. Em geral, a engenharia de segurança tem como objetivo proteger os sistemas e dados contra ameaças

maliciosas e minimizar os riscos de perda ou comprometimento desses recursos.

De acordo com Beuren et al. (2015), a engenharia de segurança é uma área que se dedica a desenvolver estratégias e técnicas para identificar, avaliar e controlar riscos em ambientes de trabalho, a fim de proteger a integridade física dos trabalhadores e minimizar acidentes e doenças ocupacionais. Essa disciplina científica e técnica surgiu durante a Revolução Industrial, período em que o aumento da produção industrial levou a um aumento significativo de acidentes de trabalho.

Costa (2018) destaca que a engenharia de segurança é fundamental para a promoção de um ambiente de trabalho seguro e saudável, contribuindo para a qualidade de vida dos trabalhadores e para o aumento da produtividade e eficiência das empresas. Além disso, a implementação de medidas de segurança no trabalho é exigida por lei em muitos países, o que torna a engenharia de segurança ainda mais relevante e necessária.

No que se refere à utilização da robótica na segurança do trabalho, Kumar e Joshi (2014) afirmam que a automação de tarefas perigosas ou repetitivas por meio de robôs tem desempenhado um papel importante na redução do risco de acidentes ou doenças ocupacionais. Como exemplos, Reis et al. (2019) citam a utilização do robô Spot, desenvolvido pela Boston Dynamics, para realizar inspeções em locais de difícil acesso, como plataformas de petróleo ou usinas nucleares, exploração de cavernas, como mostra a figura 1, e a utilização de robôs na indústria automotiva para realizar tarefas como soldagem, pintura e montagem de peças, reduzindo o risco de exposição a materiais tóxicos ou substâncias inflamáveis.

Além disso, Williams (2017) destaca a utilização de robôs em ambientes hospitalares para realizar tarefas como a limpeza de quartos ou a entrega de suprimentos, permitindo que os trabalhadores da saúde se concentrem em tarefas que exigem habilidades específicas, enquanto o robô lida com tarefas mais simples e repetitivas. Na indústria da construção, a utilização de robôs para realizar tarefas como a demolição de edifícios ou a inspeção de estruturas também contribui para a redução do risco de acidentes e doenças ocupacionais, como mencionado por Reis et al. (2019).



Figura 1 –Robô Spot explorando cavernas.

Portanto, a utilização da robótica na segurança do trabalho tem sido uma alternativa eficaz para reduzir o risco de acidentes ou doenças ocupacionais, além de aumentar a eficiência e a produtividade dos processos, como destacado por diversos autores citados neste texto.

Alguns dos trabalhos a seguir também abordam a semântica do artigo

O artigo “Robótica aplicada à segurança do trabalho em linhas de montagem” (SILVA, S. B. et al., 2017) discute a utilização de robôs na automação de tarefas perigosas ou repetitivas em linhas de montagem. O artigo apresenta exemplos de robôs utilizados na indústria automotiva e os benefícios para a segurança do trabalho.

O livro “Segurança em robótica industrial” (DEMAIO, E. C., 2018) aborda os aspectos relacionados à segurança em robôs industriais, incluindo os riscos associados à sua operação, as normas e regulamentações aplicáveis, e as medidas de segurança a serem adotadas. O livro apresenta casos práticos de aplicação da robótica na segurança do trabalho.

O artigo “Robôs móveis autônomos: uma nova tecnologia para a segurança do trabalho” (AMORIM, J. A. et al., 2019) discute a utilização de robôs móveis autônomos na segurança do trabalho. O artigo apresenta exemplos de robôs utilizados em ambientes hospitalares e industriais, e os benefícios para a segurança dos trabalhadores.

Essas são algumas referências que podem ser consultadas para entender o uso da robótica na segurança do trabalho. É importante ressaltar que, embora a robótica possa contribuir para reduzir os riscos de acidentes e doenças ocupacionais, é necessário adotar medidas de segurança adicionais para garantir a proteção dos trabalhadores.

1.1 Cenário Brasil

No Brasil, a Norma Regulamentadora nº 4 do Ministério do Trabalho e Emprego estabelece serviços especializados em engenharia de segurança e em medicina do trabalho como obrigatórios em empresas de grande porte (BRASIL, 2018).

A robótica tem sido utilizada como uma ferramenta para aprimorar a segurança do trabalho em diversas áreas, incluindo engenharia. Uma revisão sistemática realizada por Reis et al. (2019) destaca a importância da robótica na prevenção de acidentes de trabalho. Além disso, Williams (2017) discute as tecnologias, programação e aplicações da robótica industrial.

Este artigo está dividido da seguinte forma. A seção 2 aborda sobre possíveis evolução da área explorada no trabalho, engenharia de segurança. Já a Seção 3 fundamenta os riscos e cita um exemplo de um risco ocorrido em um ensino técnico. Já a seção 4 descreve e retrata um problema real ocorrido e reforça para máxima atenção e procedimentos em laboratórios técnicos, mesmo de disciplinas que a priori praticamente não apresentam, entretanto, devido há um erro de um fabricante um experimento simples passou a ter risco mais elevado. E finalmente a seção 5 conclui e endereça possíveis investigações futuras.

2 I EVOLUÇÃO E AREAS ATUAÇÃO DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA

A engenharia de segurança é uma área em constante evolução, com o objetivo de garantir a proteção de pessoas, propriedades e meio ambiente. Vamos analisar algumas perspectivas e tendências da engenharia de segurança no mundo, com citações formatadas de acordo com a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

2.1 Tecnologias emergentes e inovação

As tecnologias emergentes, como a inteligência artificial, robótica e Internet das Coisas (IoT), estão impactando a engenharia de segurança e transformando o modo como as organizações identificam e gerenciam riscos (SANCHES, 2021).

SANCHES, F. A. Impacto das tecnologias emergentes na engenharia de segurança. Rio de Janeiro: Editora Lemos, 2021.

Sustentabilidade e meio ambiente

A crescente preocupação com a sustentabilidade e o meio ambiente tem levado a engenharia de segurança a desenvolver soluções ecologicamente corretas, buscando minimizar impactos negativos e garantir a preservação dos recursos naturais (CARVALHO, 2020).

CARVALHO, M. A. Engenharia de segurança e sustentabilidade: desafios e oportunidades. São Paulo: Editora Novas Ideias, 2020.

Indústria 4.0 e cibersegurança

A Indústria 4.0 e a crescente digitalização dos processos industriais têm gerado novas ameaças cibernéticas, exigindo que a engenharia de segurança desenvolva estratégias eficazes para proteger sistemas e informações (SILVA, 2022).

SILVA, J. R. Cibersegurança na Indústria 4.0: desafios e soluções para a engenharia de segurança. Curitiba: Editora Integração, 2022.

Capacitação e conscientização

A educação e a conscientização dos profissionais são fundamentais para garantir a eficácia das medidas de segurança, visto que a engenharia de segurança depende da participação ativa dos indivíduos e organizações na prevenção de acidentes e incidentes (OLIVEIRA, 2019).

OLIVEIRA, P. F. A importância da capacitação e conscientização na engenharia de segurança. Belo Horizonte: Editora União, 2019.

Estas são apenas algumas das tendências e perspectivas da engenharia de segurança no mundo. A área continuará a evoluir, adaptando-se às novas demandas e desafios, visando sempre garantir a segurança e bem-estar das pessoas, a proteção do meio ambiente e a integridade das infraestruturas.

A engenharia de segurança do trabalho é uma área que tem como objetivo prevenir acidentes e doenças ocupacionais, garantindo a segurança e saúde dos trabalhadores em seus locais de trabalho. A atuação dessa engenharia abrange diversas áreas, tais como:

- Análise de riscos: identificação, avaliação e controle de riscos ocupacionais nos locais de trabalho, área explorada nessa investigação científica;
- Ergonomia: adaptação do trabalho ao homem, com o objetivo de aumentar a eficiência e reduzir os riscos de acidentes e doenças ocupacionais;
- Higiene ocupacional: identificação, avaliação e controle dos agentes ambientais que possam causar danos à saúde dos trabalhadores;
- Prevenção e combate a incêndios: elaboração de planos de emergência, análise e controle de riscos de incêndios;
- Saúde e segurança do trabalho: implementação de programas de saúde e segurança do trabalho, com o objetivo de prevenir acidentes e doenças ocupacionais.

De acordo com o Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA), a atuação da engenharia de segurança do trabalho pode ser realizada em diversos setores, tais como construção civil, indústria, transporte, comércio, serviços, entre outros (CONFEA, 2016).

Além disso, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui uma série de normas relacionadas à segurança do trabalho, que são utilizadas como referência para a atuação da engenharia de segurança. Entre as principais normas, podemos destacar:

- ABNT NBR 14280:2018 - Programa de prevenção de riscos ambientais;
- ABNT NBR 14787:2019 - Resgate técnico industrial em altura - Requisitos mínimos;
- ABNT NBR ISO 45001:2018 - Sistemas de gestão de saúde e segurança ocupacional - Requisitos com orientação para uso.

3 | RISCOS DE ACIDENTES

Os riscos de acidentes estão presentes em diversas atividades do cotidiano, sejam elas profissionais ou pessoais. Esses riscos podem variar em gravidade e probabilidade, mas é importante estar atento a eles para preveni-los.

Segundo a Norma Regulamentadora 1 (NR-1) do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) do Brasil, “é dever de todo empregador e trabalhador colaborar para a consecução dos objetivos desta Norma e zelar pela sua aplicação” (BRASIL, 2018, p. 1).

Além disso, a NR-5, que trata da Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA), estabelece que “a CIPA terá por atribuição (...) identificar os riscos do processo de trabalho e elaborar o mapa de riscos, com a participação do maior número de trabalhadores, com assessoria do SESMT, onde houver” (BRASIL, 2018, p. 6).

De acordo com a Organização Internacional do Trabalho (OIT), “os acidentes de trabalho representam uma perda social e econômica significativa para os indivíduos,

famílias, empresas e sociedade como um todo” (OIT, 2015, p. 8). Além disso, a OIT afirma que “a prevenção de acidentes e doenças relacionadas ao trabalho é uma responsabilidade compartilhada entre empregadores e trabalhadores” (OIT, 2015, p. 12).

Portanto, é essencial que empregadores e trabalhadores estejam cientes dos riscos de acidentes e trabalhem juntos para preveni-los, seguindo as normas e diretrizes estabelecidas pelas autoridades competentes.

A gravidade dos riscos de acidentes pode variar bastante, desde situações simples que podem causar pequenas lesões até acidentes graves que podem levar à morte. Por isso, é importante que sejam tomadas medidas preventivas para evitar qualquer tipo de acidente.

Segundo a Organização Internacional do Trabalho (OIT), “os acidentes de trabalho representam uma perda social e econômica significativa para os indivíduos, famílias, empresas e sociedade como um todo” (OIT, 2015, p. 8). Além disso, a OIT afirma que “os acidentes graves, que resultam em lesões permanentes ou morte, podem ter um impacto devastador na vida dos trabalhadores e suas famílias, bem como na reputação da empresa” (OIT, 2015, p. 8).

De acordo com o Ministério da Saúde do Brasil, “os acidentes de trabalho são responsáveis por um grande número de internações hospitalares e óbitos, gerando um alto custo social e econômico” (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019, p. 4). Ainda segundo o Ministério da Saúde, “os acidentes graves são responsáveis por uma maior proporção de internações e óbitos, porém, os acidentes leves são os mais frequentes” (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019, p. 5).

Diante dessas informações, fica evidente a importância de se prevenir acidentes, independentemente da gravidade. É dever das empresas e dos trabalhadores adotarem medidas preventivas, seguindo as normas e diretrizes estabelecidas pelas autoridades competentes.

3.1 Caso real de alto risco em sala de aula em baixa tensão

Outrora, ministrando aulas de eletrônica no antigo curso técnico profissionalizante da atual Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Cornélio Procópio UTFPR-CP, antigo CEFET-PR. A disciplina de eletrônica industrial fazia parte da grade do curso, e nesse dia o conteúdo trabalhado era relacionado a primeira parte da disciplina, eletrônica fundamental.

O fato que após montagem de um circuito retificador de onda completa, circuito básico da área. Entretanto, importante para fixar conteúdos importantes como o próprio nome do circuito já mostra. Um retificador que na eletrônica são circuitos para transformação de tensão alternada da rede elétrica para um valor contínuo.

Na atualidade esse tipo de circuito se tornou didático pela substituição das fontes chaveadas, com muito maior rendimento e menor peso (KUPHALDT, 2021).

Uma imagem do circuito pode ser conferida na figura xxx

Figura – Circuito retificador de onda completa com transformador

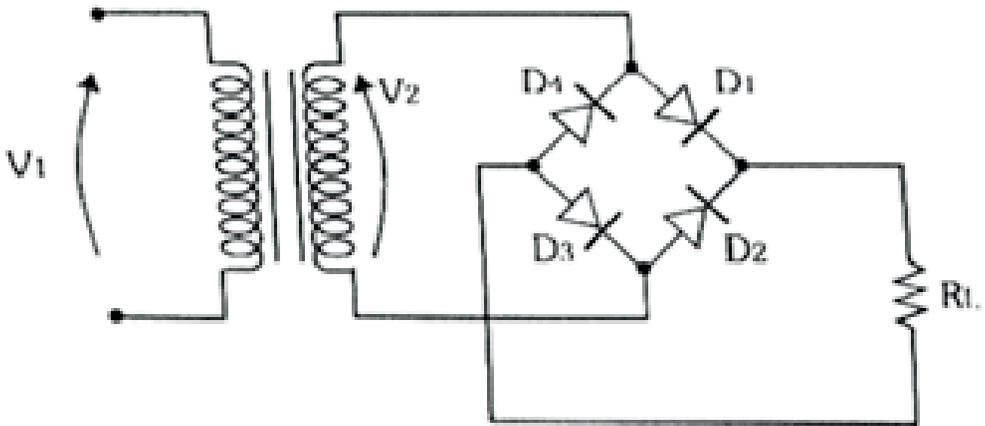


Figura 2 –Circuito retificador onda completa sem filtro.

A saber, os componentes do circuito, um transformador usado em eletrônica de baixa potência e dimensões, centímetros. E de um modo geral, com seu primário, entrada da rede elétrica, e os quatro diodos conectados em ponte de *wheatstone* que polarizam a tensão deixando próxima de uma tensão contínua, o que se completa com o uso de um filtro, normalmente um capacitor eletrolítico que é polarizado e tem uma solução química que aquece e “explode o componente”, podendo causar acidentes. Ressalta-se que não é escopo do trabalho análise de circuito eletrônico, uma breve explicação foi discorrida para um melhor entendimento do risco ocorrido.

Como toda recomendação em sala de aula, o circuito só é ligado após a conferência do docente. Posto isso, o fato ocorreu que após uma primeira inspeção o circuito estava tudo correto. A posição dos diodos e outros componentes do circuito básico. O fato foi que ao ligar: um fusível do painel do laboratório abriu. Isso causou uma suspeita de algo muito estranho. Um circuito com entrada de 120V em corrente alternada (C.A.) e saída aproximadamente 12-1,4 (considerando a queda de tensão dos diodos) teria uma tensão de aproximadamente 10 V (C.C.) menor risco ainda.

Após a queima do fusível do painel causou uma preocupação em sala de aula e o docente foi verificar com mais acurácia o problema, após a mesma a causa do problema foi detectada. Um renomado fabricante de transformadores ou trafos de baixa tensão inverteu as etiquetas de entrada e saída do mesmo, fazendo com que o mesmo de abaixador de tensão em uma escala de 10x se tornasse um elevador de tensão de menor (considerando histerese).

Os alunos ligaram corretamente, porém devido ao erro de posição da etiqueta uma tensão (não investigada) teoricamente deveria ter assumido um valor entre 700 e 1000V.

O que tornou um circuito básico aparentemente sem nenhum risco com um nível de tensão que poderia deixar de ser baixa tensão menor que 1000V, podendo provocar um acidente com o próprio docente ou um aluno de maior gravidade. Infelizmente, isso foi um episódio que por um erro do fabricante em uma aula de eletrônica, a priori com risco muito baixo tomou um rumo de risco de mais alta gravidade, mas graças a experiência do docente e cautela dos alunos nada de mais grave ocorreu. O Trafo foi substituído e a aula prosseguiu sem nenhum acidente. Deste modo, pode-se concluir que mesmo em uma situação de risco baixo, poderia ter ocorrido um acidente grave, em especial, caso houvesse contato com alguma pessoa com problemas cardíacos.

4 | RESULTADOS

O universo da engenharia de segurança é muito vasto, essa ciência tem como seu maior objetivo como supracitado a atenuação de acidentes, sejam eles financeiros ou casos ainda mais graves com pessoas.

Infelizmente, como no estudo de caso apresentado um experimento que a priori praticamente não apresentava riscos ou eram mínimos, por um erro dos fabricantes de um componente mudou drasticamente o mesmo.

Deste modo, técnicas como análise de riscos, padronização nos métodos empregados e máxima atenção são elementos que podem sim atenuar acidentes, os quais são indesejáveis em qualquer esfera. Por sorte e competência não passou de um “susto”; entretanto poderia ter ocorrido consequências graves ou até mesmo gravíssimas.

5 | CONCLUSÃO

A Engenharia de Segurança do Trabalho é uma área essencial para garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores em seus ambientes de trabalho. Para isso, é necessário que sejam aplicados os fundamentos e conceitos dessa engenharia para identificar, avaliar e controlar os riscos existentes.

As tendências nessa área apontam para a necessidade de uma abordagem cada vez mais integrada, com o uso de tecnologias e ferramentas para o gerenciamento e monitoramento dos riscos. Além disso, é fundamental que haja uma cultura de segurança nas empresas e que os trabalhadores sejam capacitados para identificar e reportar os riscos.

Um caso de risco real no ensino de eletrônica é o uso inadequado de equipamentos, que pode levar a acidentes graves, como choques elétricos e incêndios. É importante que os professores e alunos de eletrônica recebam treinamentos específicos sobre os riscos

envolvidos em seu trabalho, e que as instituições de ensino disponibilizem equipamentos adequados e seguros para o uso em sala de aula.

Em resumo, a Engenharia de Segurança do Trabalho é uma área crucial para a proteção da saúde e segurança dos trabalhadores, com fundamentos e conceitos importantes para identificar e controlar os riscos. As tendências apontam para uma abordagem integrada e o uso de tecnologias, e casos reais de risco, como o uso inadequado de equipamentos de eletrônica, demonstram a necessidade de capacitação e de equipamentos seguros. Futuros trabalhos endereçam explorar com mais acurácia a aplicação de robôs nessa área.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Normas de Segurança do Trabalho. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/normas-tecnicas/Seguranca-do-trabalho>. Acesso em: 19 mar. 2023.

Beuren, F. H., Freitas, H., & Pletiskaitė, L. (2015). Gestão da segurança e saúde no trabalho: um estudo sobre a percepção dos gestores de empresas de pequeno porte. *Revista de Administração Contemporânea*, 19(3), 322-342.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora 5: Comissão Interna de Prevenção de Acidentes. 2018. Disponível em: <http://www.normaslegais.com.br/nr/nr5.htm>. Acesso em: 19 mar. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 4: serviços especializados em engenharia de segurança e em medicina do trabalho. Brasília: MTE, 2018.

CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA (CONFEA). Resolução nº 1025, de 30 de outubro de 2009. Dispõe sobre a Anotação de Responsabilidade Técnica e o Acervo Técnico Profissional, e dá outras providências. Brasília: CONFEA, 2009. Disponível em: <https://normativos.confea.org.br/ementas/visualiza.asp?idEmenta=36122>. Acesso em: 19 mar. 2023.

Costa, F. R. da. (2018). Engenharia de segurança do trabalho. São Paulo: Atlas.

Kumar, A., & Joshi, S. C. (2014). Robotic technology in occupational safety and health management: a review. *Safety Science*, 67, 21-27.

Kuphaldt, Tony R. *Industrial Electronics: Principles and Applications*. 5th ed. [s.l.]: Creative Commons, 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Acidentes de trabalho: Informações básicas. Brasília: Ministério da Saúde, 2019. Disponível em: <https://www.saude.gov.br/images/pdf/2019/janeiro/10/01-acidentes-trabalho-informacoes-basicas-2018.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2023.

Oliveira, L. G.; Mello, R. P. Engenharia de segurança do trabalho: conceitos, técnicas e sistemas de gestão. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. Prevenção de acidentes e doenças relacionadas ao trabalho. Genebra: OIT, 2015. Disponível em: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_410750.pdf. Acesso em: 19 mar. 2023.

Reis, M. F. dos, Barbosa, L. C. S., Lima, M. E. de, & Alves, M. C. R. (2019). Robótica na prevenção de acidentes de trabalho: uma revisão sistemática.

Ross, J. W.; Anderson, D.; Hancock, B. L. Security Engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems. New York: Wiley, 2008.

Saliba, T.; Santos, S. A. Engenharia de segurança do trabalho. São Paulo: Érica, 2019.

TOLEDO, R. A. Engenharia de segurança do trabalho. São Paulo: Pearson, 2014.

Trindade, A. M. R. Manual de engenharia de segurança do trabalho. São Paulo: Blucher, 2016.

Williams, R. A. (2017). Industrial Robotics: Technology, Programming, and Applications. Boca Raton: CRC Press.

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO INDICADOR TAXA DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES DE TRABALHO EM UMA EMPRESA DE MOLDURAS DE MADEIRA E SUA RELAÇÃO COM A MUDANÇA NA CULTURA DE SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO

Data de aceite: 02/05/2023

Tiago Machado e Silva

IFPR

<http://lattes.cnpq.br/0344174209179735>

Jomar Berton Junior

IFPR

<http://lattes.cnpq.br/4714967818055223>

João Bernardo Aranha Ribeiro

IFPR

<https://lattes.cnpq.br/9027441032059817>

Edson Machado e Silva Junior

UTFPR

<http://lattes.cnpq.br/3013899813045439>

relacionando os resultados com medidas tomadas pela empresa na prevenção de acidentes. Para isso, foi realizado um estudo de caso, utilizando informações da empresa e observações no próprio local e o indicador utilizado para as análises foi a taxa de frequência de acidentes totais, considerando acidentes com e sem afastamento e primeiros socorros. Por meio dos dados analisados, notou-se uma redução de 80% na taxa de frequência de acidentes comparando os dados de 2018 até 2022, mostrando que a empresa realmente passou por uma mudança na sua cultura de saúde e segurança do trabalho a partir de 2019, a qual passou pela liderança e seu comprometimento com o tópico, aumento da visibilidade e comunicação sobre segurança e programas e práticas de saúde e segurança do trabalho, partindo do tripé CHA, evidenciando a importância em tornar esse tópico um valor dentro da empresa.

PALAVRAS-CHAVE: Acidente de trabalho, indústria madeireira, segurança do trabalho.

RESUMO: Mesmo com diversas leis e normas regulamentadoras que visam a segurança dos trabalhadores, o número de acidentes de trabalho no Brasil ainda é um dos maiores do mundo. Quando analisada a indústria madeireira, diversas são as fontes geradoras e partes do corpo afetadas e, além do número elevado, a gravidade dos acidentes também é preocupante. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho consistiu em analisar a evolução do indicador taxa de frequência de acidentes de trabalho entre 2018 e 2022 de uma indústria fabricante de molduras de madeira,

CASE STUDY: ANALYSIS OF THE EVOLUTION OF THE FREQUENCY RATE OF ACCIDENTS AT WORK INDICATOR IN A WOODEN FRAME COMPANY AND ITS RELATIONSHIP WITH THE CHANGE IN THE CULTURE OF HEALTH AND SAFETY AT WORK

ABSTRACT: Even with several laws and regulatory standards aimed at the safety of workers, the number of accidents at work in Brazil is still one of the highest in the world. When analyzing the wood industry, there are several generating sources and affected body parts and, in addition to the high number, the severity of accidents is also worrying. Thus, the aim of the present work was to analyze the evolution of the frequency of accidents at work indicator between 2018 and 2022 of an industry that manufactures wooden frames, relating the results with measures taken by the company to prevent accidents. For this, a case study was carried out, using company information and on-site observations, and the indicator used for the analyzes was the total accident frequency rate, considering accidents with and without leave and first aid. Through the analyzed data, there was 80% reduction in the accident frequency rate comparing data from 2018 to 2022, showing that the company really underwent a change in its culture of health and safety at work since 2019, which included leadership and its commitment to the topic, increased visibility and communication about safety and programs and practices for health and safety at work, based on the KSA triangle of success, highlighting the importance of making this topic a value within the company.

KEYWORDS: Work accident, wood industry, workplace safety.

1 | INTRODUÇÃO

Desde os primórdios acontecem acidentes de trabalho, porém com a Revolução Industrial e a mudança na dinâmica de trabalho, com o crescente uso de máquinas, longas jornadas de trabalho em locais insalubres e trabalho repetitivo, o número de acidentes de trabalho ganhou escalabilidade. Assim, surgiram as primeiras normas trabalhistas na Inglaterra no século XIX e elas ganharam mais enfoque a partir da criação da Organização Internacional do Trabalho (OIT) em 1919 (CHAGAS; SALIM; SERVO, 2011).

Como o processo de industrialização do Brasil aconteceu posteriormente, somente durante a República Velha (1889-1930) surgiram as primeiras legislações de proteção aos trabalhadores, ampliada no Governo Vargas com a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) em 1943. Essa legislação oficial passou por mudanças, principalmente após a promulgação da Constituição da República Federativa do Brasil (CRFB) em 1988 e muitas das suas diretrizes seguem até os dias de hoje. É válido ressaltar que um grande avanço aconteceu em 1978, com a Portaria nº 3214 composta pelas Normas Regulamentas (NRs), regularmente atualizadas buscando atender as convenções da OIT e atualmente representadas por um total de 37 NRs (CHAGAS; SALIM; SERVO, 2011).

Conforme a Legislação Brasileira, acidente de trabalho é caracterizado pelo exercício do trabalho a serviço da empresa, “provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte, a perda ou redução, temporária ou permanente, da capacidade para o

trabalho” (BRASIL, 2005).

Analisando os dados do Ministério do Trabalho e Previdência, entre os anos de 2018 e 2020 foram registrados 5.963 acidentes em indústrias classificadas como serrarias com desdobramento de madeira em bruto (CNAE 1610), dos quais 5.086 possuem CAT e desses registros 92% foram classificados como acidentes típicos, 7% acidentes de trajeto e 1% doença de trabalho.

Devido as atividades de trabalho, estudo feito por Souza, Blank e Calvo (2002) indicou que a indústria de madeira apresenta acidentes de trabalho voltados principalmente a queda do trabalhador, sobre-esforço, queda de objetos/fragmentos que saltam de máquinas em movimento, esmagamento de partes móveis e contato com objetos ou máquinas em movimento. Além disso, as indústrias de transformação têm destaque não somente pela frequência de acidentes, mas também por sua gravidade (RIBEIRO; AUGUSTO; KLUTHCOVSKY, 2009).

Com base nesses dados, torna-se importante analisar os acidentes de trabalho que acontecem na indústria madeireira e entender de que forma eles podem ser prevenidos. Assim, o objetivo do presente estudo consiste em analisar a evolução do indicador taxa de frequência de acidentes de trabalho entre 2018 e 2022 de uma indústria fabricante de molduras de madeira, relacionando os resultados com medidas tomadas pela empresa na prevenção de acidentes. Como hipótese, acredita-se que com as mudanças que aconteceram na empresa a partir de 2019, a segurança passou por uma mudança cultural, reduzindo os acidentes de trabalho.

Para tal, primeiramente foi apresentada uma contextualização e objetivo do trabalho na introdução e posteriormente serão apresentadas a metodologia, a empresa, o processo produtivo, o indicador de segurança de taxa de frequência de acidentes de trabalho total, as ações de segurança adotadas pela empresa, e uma conclusão relacionando todas as informações.

2 | METODOLOGIA

Esse trabalho é classificado como um Estudo de Caso do ponto de vista dos procedimentos técnicos, pois busca analisar dados específicos de uma empresa escolhida e sua situação, com natureza aplicada com consequências práticas do conhecimento, e estratégia particular dependendo do contexto estudado. A abordagem do problema vai acontecer de forma mista, com elementos quantitativos e qualitativos e o objetivo da pesquisa é exploratório, buscando visão geral sobre determinada situação (GIL, 2008; MIGUEL et al., 2012).

O estudo de caso foi realizado em uma indústria que produz molduras de madeira. Os dados de taxa de frequência de acidentes de trabalho foram levantados pela própria empresa, como parte do indicador que é mensalmente acompanhado, e as ações de

segurança foram observadas *in loco*, além da realização de conversas com funcionários em geral e a equipe de Saúde e Segurança do Trabalho da empresa. O período utilizado para as análises correspondeu aos anos entre 2018 e 2022.

Ainda, as informações da taxa de frequência de acidentes foram comparadas com as ações de saúde e segurança do trabalho buscando a relação com a mudança na cultura de saúde e segurança que a empresa vem passando nos últimos anos.

Em relação aos artigos e referências utilizadas no trabalho, eles foram pesquisados no Google Scholar, utilizando termos como “Acidentes de Trabalho” e “Indústria Madeireira” a partir do ano de 2000 e analisados conforme resumo e relevância para o contexto do atual estudo de caso.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção será apresentada a empresa e o seu processo produtivo, os indicadores de segurança do trabalho acompanhados pela empresa, e as principais ações de saúde e segurança do trabalho que a empresa possui.

3.1 Empresa

A empresa analisada no estudo de caso é uma indústria fabricante de molduras de madeiras com mais de 20 anos de mercado, atualmente com cerca de 1.400 funcionários, e possui as certificações ISO 9001:2015, ISO 14001, o selo FSC® e a certificação GPTW e passou por reestruturação no seu quadro de diretores a partir de 2019, movimentando a hierarquia e a gestão.

Sua atividade econômica principal é definida como serraria com desdobramento de madeira em bruto (CNAE 1610-2/03) e o seu processo produtivo começa com toras de madeira como matéria-prima, passando por uma serraria gerando tábuas, e posteriormente por processos produtivos intermediários até a transformação completa em molduras naturais ou pintadas, que serão enviadas aos clientes.

Devido às suas atividades principais, a empresa é classificada em relação ao Grau de Risco da Atividade Econômica (RAT) como risco grave, o que representa que o valor de 3% será multiplicado pelo Fator Acidentário de Prevenção (FAP) gerando a porcentagem que será paga sobre a folha de pagamento como o tributo ao INSS para custear os acidentes decorrentes do trabalho ou doenças ocupacionais.

3.2 Indicadores de segurança do trabalho

Os dois principais indicadores acompanhados pela empresa em relação aos acidentes de trabalho são a Taxa de Frequência de Acidentes Totais e a Taxa de Gravidade.

A Taxa de Frequência de Acidentes Totais (TFA) considera os acidentes com afastamento (ACA), os acidentes sem afastamento (ASA) e os primeiros socorros (PS). A

TFA é calculada segundo recomendação da OIT e da ABNT NBR 14.280 da seguinte forma:

$$TFA = \frac{N \times 1000000}{H}$$

Onde:

TFA é a taxa de frequência de acidentes total;

N é o número de acidentes (ACA + ASA + PS);

H representa as horas-homem de exposição ao risco (horas efetivamente trabalhadas, excluindo-se horários de refeição, atrasos, faltas, etc. e incluindo as horas extras, banco de horas, etc.).

A validade de calcular a TFA dessa forma serve para comparativo entre outras empresas e índices de eficiência em segurança, conforme classificação disponível no Quadro 1 e elaborada pela OIT.

Taxa de Frequência (número de acidentes)	
Até 20,00	Muito Boa
De 20,01 a 40,00	Boa
De 40,01 a 60,00	Regular
Acima de 60,00	Péssimo

Quadro 1 – Classificação da TFA

Fonte: OIT.

Buscando criar uma linha de tendência mais assertiva, a empresa utiliza o *rolling* de 12 meses para analisar o indicador de FTA, ou seja, utiliza a média dos dados dos últimos 12 meses para formar os indicadores do mês. Por exemplo, a TFA de setembro de 2022 vai englobar a média entre outubro de 2021 e setembro de 2022.

Já o indicador de Taxa de Gravidade (TG) é calculado pela seguinte fórmula:

$$TG = \frac{T \times 1000000}{H}$$

Onde:

TG é a Taxa de Gravidade;

T é o tempo computado (em dias);

H representa as horas-homem de exposição ao risco, calculado como no cálculo da FTA.

O tempo computado é o número de dias debitados pelos acidentados vítimas de morte ou incapacidade permanente (expresso pelo Quadro 1 da NBR 1280) ou o número de dias perdidos corridos de afastamento do trabalho em virtude de lesão pessoal, excetuados o dia do acidente e o dia da volta ao trabalho (o que for maior).

De forma similar ao TFA, o Quadro 2 apresenta a classificação adotada pela OIT para a Taxa de Gravidade.

Taxa de Gravidade (dias perdidos)	
Até 500	Muito Boa
De 500,01 a 1000	Boa
De 1000,01 a 2000	Regular
Acima de 2000	Péssimo

Quadro 2 – Classificação da TG

Fonte: OIT.

Além desses dois indicadores, também é importante analisar anualmente o resultado do Fator Acidentário de Prevenção (FAP), um multiplicador calculado conforme o grau de acidentalidade da empresa e divulgado anualmente pela Receita Federal, podendo variar entre 0,5 e 2,0 e definindo o imposto que será pago ao INSS referente a porcentagem sobre a folha da empresa.

Para os fins do presente estudo de caso, será analisada a Taxa de Frequência de Acidentes Totais, utilizando o *rolling* de 12 meses, dos dados a partir de janeiro de 2018 até setembro de 2022. A Figura 1 represente como se comportou a TFA, sem apresentar o resultado numérico a fim de preservar a confidencialidade da empresa.

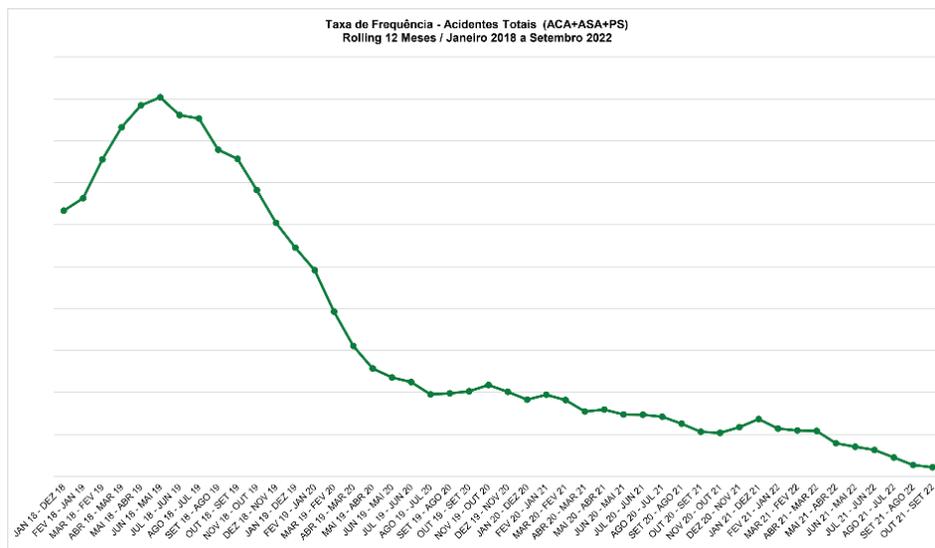


Figura 1 – Taxa de Frequência de Acidentes Totais (ACA + ASA + PS)

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Pelo gráfico apresentado na Figura 1 é possível observar que a maior taxa de frequência de acidentes totais no período analisado aconteceu no *rolling* de junho de 2018 a maio de 2019 e o menor refere-se ao *rolling* do último mês mensurado pela empresa até a data da presente pesquisa, equivalente a outubro de 2021 a setembro de 2022.

Percentualmente a redução da TFA do *rolling* de outubro de 2021 a setembro de 2022 em relação ao *rolling* de junho de 2018 a maio de 2019 foi de 80% e comparando com o primeiro *rolling* analisado nesse estudo (janeiro de 2018 a dezembro de 2018) a redução apresentada é de 73%, comprovando a redução na taxa de frequência de acidentes de trabalho total da empresa.

Conforme apresentado no tópico anterior, é possível observar que as decisões tomadas pela nova direção da empresa relacionadas à saúde e segurança do trabalho transformaram positivamente a cultura da empresa, apresentando uma redução significativa na taxa de frequência de acidentes totais.

Essa mudança cultural passou por diversas ações e programas que foram implantados, reestruturados e reforçados após 2019, os quais serão apresentados no tópico abaixo.

3.3 Ações de segurança

A mudança de cultura de saúde e segurança do trabalho da empresa a partir de 2019 passou pelo tripé CHA: conhecimento, habilidade e atitude. Dessa forma, a segurança deixou de ser apenas prioridade, passando a ser considerada um valor dentro da instituição, prezando cada vez mais pelo bem-estar de todos os colaboradores.

Uma das primeiras ações tomadas pelo diretor geral da empresa foi a realização de paradas gerais em cada setor da fábrica apresentando os números dos acidentes de trabalho dos últimos anos e imagens de acidentes que aconteceram na empresa, buscando conscientizar quanto a importância da prevenção de acidentes, a prática do cuidado ativo e comportamentos seguros.

Outra questão importante foi levar para a liderança a importância de dar o exemplo, pois a melhor forma de ensinar é dando o exemplo aos seus liderados. Dessa forma, por exemplo, quando um líder fosse mexer em alguma madeira, ele sempre deveria estar com a luva específica para tal atividade, mostrando a importância de realizar a atividade com os EPI's adequados.

Na época a empresa já possuía regras básicas de segurança, que são deveres e obrigação de todos, e são passados a todo novo colaborador, os quais foram reforçados, como por exemplo regras referentes a adornos e vestimentas adequadas, locais de acesso e limitações, utilização de ferramentas corretamente, sinalizações, não utilização de celular na indústria, utilização de EPI's, tráfego de empilhadeiras, utilização das faixas de pedestres, etc.

A empresa atende de forma geral as Normas Regulamentadoras (NR's): possui uma

equipe de SESMT (Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho), CIPA (Comissão Interna de Prevenção de Acidentes), Brigada de Incêndio, PPRA, PCMSO, etc.

A empresa já possuía regras de ouro, as quais são um conjunto de medidas elaboradas pela empresa para suportar o maior valor da empresa que são a vida das pessoas. Atualmente elas são 6 e todos devem segui-las e como consequências do não cumprimento o trabalhador pode receber advertência, suspensão ou rescisão por justa causa. Essas consequências tornaram-se mais rígidas durante a mudança de cultura de segurança da empresa.

A empresa utiliza a prática do cartão de bloqueio em toda situação de intervenção em máquina: o operador aciona o botão de parada da máquina ou parada de linha e coloca o seu cartão de bloqueio para identificar que está realizando alguma operação no equipamento. Cada operador possui o seu cartão de bloqueio e somente ele pode retirar o cartão de bloqueio e religar a máquina/linha, evitando que a máquina volte a funcionar enquanto o colaborador está realizando alguma atividade naquele equipamento.

Uma ferramenta importante que foi modificada após 2020 é o RATING. O RATING é um indicador que mensura o engajamento de cada setor em relação a cultura de segurança. Até 2019 ele era um indicador mais reativo e a partir de 2020 passou a ser constituído por 7 fatores para cálculo, focando em zero acidentes:

1. Cartão de observação: objetivo de observar e tratar comportamentos negativos e reforçar comportamentos seguros e positivos. Devem ser observadas a exposição ao risco, limpeza, organização e utilização de EPI's.
2. Relato de Incidente (Etiqueta Verde): Ferramenta simples, rápida e prática. Qualquer colaborador pode emitir relatos de incidentes quando identificar algum desvio, incidente ou quase acidente por meio da etiqueta verde. Etiquetas verde são analisadas semanalmente pela Segurança do Trabalho, buscando melhorias na segurança da empresa.
3. Inspeção de Segurança: periodicidade definida em cada setor, com máquina e responsável, checklist padronizado, voltado a condições de máquinas e equipamentos e não aos comportamentos das pessoas, realizado por líderes e cipeiros.
4. Academia de Segurança para Líderes: ferramenta mensal com duração de 1 hora, dedicada a toda a liderança e visa o compartilhamento de informações e a autorreflexão para assuntos relacionados com a segurança e saúde ocupacional, como a cuidado ativo, percepção de risco, protagonismo, liderança e mudança de cultura, a fim de desenvolver os gestores como Líderes de Segurança.
5. DDS - Diálogo Diário de Segurança: acontece diariamente na entrada dos turnos, abordando assuntos sobre saúde e segurança do trabalho com participação da equipe. Antes existia um diálogo semanal de SGI, realizado uma vez por semana e englobando temas de saúde e segurança do trabalho, qualidade, Sistema de Gestão

Integrado e meio ambiente, ou seja, os temas de segurança eram abordados apenas uma vez ao mês.

6. Desempenho do Cipeiro: matriz de comprometimento da CIPA com 4 ferramentas: inspeções mensais, relato de incidente (etiqueta verde), elaboração de DDS e cartão de observação de atividade. Além dessas ferramentas, entram também as campanhas mensais de saúde e segurança no trabalho.

7. Academia de Segurança: mensal e para todos os colaboradores realizarem no Portal TransformAÇÃO, plataforma on-line de treinamentos da empresa, abordando temas que envolvem a segurança física, mental e emocional do trabalhador, levando conhecimentos e buscando a mudança de hábitos, comportamentos e a cultura de saúde e segurança.

Além das Academias de Segurança geral e para líderes que estão disponíveis no Portal TransformAÇÃO, a plataforma possui os seguintes treinamentos voltados à segurança: Ferramentas do Rating, Ginástica Laboral, Indicadores de Segurança, NR 05 – CIPA, NR 17 – Ergonomia e Segurança 01 – Rotinas de Proteção, e constantemente são adicionados novos treinamentos.

Juntamente com o DDS descrito acima, os colaboradores também realizam a ginástica laboral com sua equipe. Além disso, a cada 15 dias o educador físico vem até a empresa em horários agendados com cada setor para realizar a ginástica. Para os trabalhadores em regime de home office, a ginástica laboral pode ser acessada no Portal TransformAÇÃO e semanalmente são lançados novos vídeos com os exercícios que podem ser seguidos.

Mensalmente a equipe de Segurança envia no e-mail de toda a empresa os indicadores de segurança do mês (número de acidentes, taxa de frequência, taxa de gravidade, RATING), cada um dos acidentes que ocorreu juntamente com a análise realizada e o plano de ação, a matriz de comprometimento dos cipeiros e as melhorias e ações de segurança do mês. Além disso, são enviados a todos os colaboradores os relatos preliminares de todos os acidentes (ACA, ASA, PS e Incidentes de Alto Potencial) logo após a sua ocorrência e no episódio de um ACA toda a fábrica é parada no dia seguinte para discutir o acontecimento.

Em 2019 foram iniciadas as Reunião Semanais de Segurança, as quais acontecem semanalmente com duração de 1 hora, com os gerentes de produção, manutenção, segurança e excelência operacional e presidente da CIPA, discutindo os acidentes da semana, as investigações dos acidentes, ações relacionadas a acidentes/incidentes atrasadas/próximas ao vencimento, novas ações, treinamentos, alertas de EPI's vencidos, participação na academia de segurança, atividades da CIPA, taxa de frequência e taxa de gravidade de acidentes, RATING e campanhas realizadas.

Outra reunião que passou a ser realizada mensalmente foi com os operadores de empilhadeiras, trazendo os acidentes do mês e assuntos relacionados com o comportamento

e práticas seguras.

A empresa realiza anualmente a SIPAT (Semana Interna de Prevenção de Acidentes do Trabalho) com todos os colaboradores e em 2021 começou a realizar a SIPAT estratégica a nível de direção e gerência, durante a qual busca estratégias voltadas para a saúde e segurança de todos.

Outra mudança aconteceu na integração de segurança de novos colaboradores: ela passou a ter a duração de 1 dia e após 60 dias os colaboradores retornam para um bate papo de feedback sobre a segurança da empresa.

Outro importante projeto da empresa consiste no Anjo das Mãos: determinado setor da empresa possuía um alto número de acidentes nas mãos durante o ajuste das máquinas; buscando zerar esses acidentes e mostrar a importância do cuidado com as mãos, cada máquina possui 2 anjos e as entradas nas cabines para ajustar a máquina só podem acontecer com o acompanhamento de um dos anjos.

Outro fator importante de mudança que aconteceu na empresa após 2019 foram as adequações das máquinas e equipamentos a NR12, que estabelece os requisitos mínimos para a prevenção de acidentes no projeto e utilização de máquinas e equipamentos. Dessa forma, o maquinário de todos os setores passou por revisões e adequações buscando aumentar a proteção dos trabalhadores, passando a ter análise de risco e apreciação de risco, conforme NR12 e ABNT NBR 14153, atuando por priorização, como por exemplo atuando em sistemas de bloqueio, painéis de segurança, etc. Ainda, quinzenalmente acontecem encontros do comitê da NR12, buscando melhorias na proteção de máquinas e equipamentos.

Outra mudança que aconteceu na empresa foi que todos os PS (primeiros socorros) e Incidentes de Alto Potencial passaram a ter ações gerenciadas via sistema; anteriormente esse acompanhamento acontecia somente com ACA e ASA. Ainda, os procedimentos voltados à saúde e segurança do trabalho passaram por revisões gerais.

Junto com todas essas ações, a equipe de saúde e segurança do trabalho da empresa passou por modificações, aumentando o seu quadro e modificando a forma de abordagem.

4 | CONCLUSÃO

A empresa passou por uma redução de 80% na taxa de frequência de acidentes totais comparando os dados de 2018 até 2022, o que mostra que as mudanças que aconteceram na empresa a partir de 2019 e as medidas voltadas à saúde e segurança do trabalho, focando no tripé CHA (conhecimentos, habilidades e atitudes), realmente modificaram a sua cultura de segurança e trouxeram resultados na redução dos acidentes e doenças do trabalho, melhorando o bem-estar dos colaboradores.

A empresa passou por três importantes etapas para a mudança na cultura de

segurança: 1º começou pela liderança, tornando-os líderes de segurança e aumentando o comprometimento com o tema; 2º aumentou a visibilidade sobre saúde e segurança do trabalho, comunicando toda a empresa sobre aspectos de segurança, indicadores e comportamentos seguros e 3º estabeleceu programas e práticas de segurança do trabalho.

Dessa forma, ficou comprovada que a mudança de cultura de segurança passa por diversas ações, que juntas conscientizam e modificam os hábitos das pessoas, pois elas começam a entender as consequências positivas de realizar o seu trabalho com segurança. Assim, é importante que essa mudança cultural passe pela direção e liderança da empresa, levando o exemplo para os demais colaboradores e atingindo resultados que vão beneficiar a empresa e principalmente todas as vidas que estão diariamente expostas às diversas situações de trabalho.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. **Legislação em saúde: caderno de legislação em saúde do trabalhador**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2005. 380 p. (Série E. Legislação de Saúde). ISBN 85-334-0702-5. Disponível em: <http://renastonline.ensp.fiocruz.br/recursos/caderno-legislacao-saude-trabalhador>. Acesso em: 16 out. 2022.

CHAGAS, A. M. de R. O.; SALIM, C. A. O.; SERVO, L. M. S. O. **Saúde e segurança no trabalho no Brasil: aspectos institucionais, sistemas de informação e indicadores**. Brasília: IPEA 2011. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/3033>> Acesso em: 16 out. 2022.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

MIGUEL, P. A. C. *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Elsevier, 2012.

RIBEIRO, S.; AUGUSTO, F. J. T.; KLUTHCOVSKY, A. C. G. C. **Acidentes de trabalho na indústria madeireira de uma cidade do Paraná: análise das comunicações de acidentes de trabalho**. Revista Salus, v. 3, n. 1, p. 49-60, 2009.

SOUZA, V.; BLANK, V. LG; CALVO, M. C. M. **Cenários típicos de lesões decorrentes de acidentes de trabalho na indústria madeireira**. Revista de Saúde Pública, v. 36, p. 702-708, 2002.

ESTUDO DA APLICAÇÃO DE CAMADA POROSA DE ATRITO (CPA) PARA A DRENAGEM DE PAVIMENTO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Data de aceite: 02/05/2023

Leonardo de Oliveira Tiotonio

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
- UERJ

Bruno Guida Gouveia

Universidade do Estado do Rio de Janeiro –
- UERJ
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ/PET/COPPE

Marina Donato

Universidade Federal de Mato Grosso -
UFMT
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ/PET/COPPE

Leandro da Rocha Vaz

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
- UERJ

RESUMO: Esse trabalho verificou o potencial que a utilização de uma camada porosa de atrito teórica poderia exercer sobre a redução do filme de água que se forma sobre o revestimento de uma rodovia localizada na cidade do Rio de Janeiro – RJ. Para tanto, utilizou-se um procedimento metodológico para se estimar a intensidade da precipitação, em condição convencional e em condição mais rigorosa, que cairia

sobre a via, bem como as capacidades de escoamento e armazenamento de água de um revestimento asfáltico padrão e uma mistura asfáltica porosa. Verificou-se, que a camada porosa de atrito teve um desempenho superior quanto a redução do volume de água que se acumula sobre a pista por meio da combinação dos volumes de água escoados e armazenados. Concluiu-se para as chuvas previstas a camada porosa de atrito apresentaram desempenho superior ao tipo de revestimento habitual, sendo capaz de drenar o valor total precipitado.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentação. Camada Porosa de Atrito. Drenagem.

ABSTRACT: This work verified the potential of a theoretical open graded friction course could exert on the reduction of the water film that forms over the coating of a highway located in the city of Rio de Janeiro - RJ. For that, a procedure was used to estimate the intensity of precipitation, under conventional and more rigorous conditions, that would fall on the pavement, as well as the runoff and water storage capacities of a standard asphalt coating and an open graded friction course. It was found that the open graded friction course performed better in reducing

the volume of water that accumulates on the road by combining the volumes of water runoff and water storage. It is concluded that for the predicted rainfall the open graded friction course outperformed the usual type of coating in being able to drain the total amount of precipitation. **KEYWORDS:** Pavement. Open-Graded Friction Course. Drainage.

1 | INTRODUÇÃO

O pavimento é uma estrutura que possui múltiplas camadas de espessuras limitadas, construída acima da superfície final da terraplenagem, designada, de maneira técnica e econômica, a resistir aos esforços proveniente do tráfego, do clima, e a proporcionar aos usuários melhoria nas condições de rodagem, com conforto, segurança e economia. O acúmulo de água na superfície do pavimento é um risco aos motoristas, pois podem promover diversos problemas como a aquaplanagem, a redução de visibilidade (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Desse modo, entre os diversos tipos de mistura asfálticas aplicadas a pavimentos drenantes, a mistura asfáltica do tipo Camada Porosa de Atrito (CPA), surge como alternativa absorção da água proveniente da pluviometria. As propriedades desse pavimento ajudam a melhorar o tráfego relacionado à segurança em tempo chuvoso, facilitam a visualização da sinalização de nível viário à noite, proporcionam conforto no trânsito e ajudam a reduzir os acidentes (Dresch, 2016). Segundo Daibert *et al.* (2019), em condições de chuva, a probabilidade de ocorrência de acidentes aumenta. Estimativas da Polícia Rodoviária Federal (PRF) indicam que há um aumento de 40% no risco de acidentes em caso de chuva.

Sendo assim, como explicitado, a elevação do índice de acidentes nas condições chuvosas, faz necessário a busca por métodos que favoreçam a segurança sob tal condição. Logo, observa-se que a CPA é um tipo de revestimento que consiste em uma mistura, podendo ser asfálticas ou de concreto, com elevado volume de vazios, que torna permeável à ação das águas de chuva e, conseqüentemente, reduz a espessura da lâmina d'água sobre a superfície da camada de rolamento. Por fim, de acordo com Dresch (2016), observa-se que nos últimos anos, a experiência com a CPA cresceu significativamente em todo o mundo.

O objetivo desse estudo foi analisar da utilização da camada porosa de atrito (CPA) em pavimentos rodoviários, a fim de melhorar a drenagem do pavimento, diminuindo a lâmina d'água presente na superfície e gerando mais segurança aos usuários de rodovias no município do Rio de Janeiro. Desse modo, decidiu-se aplicar a CPA em um trecho para estimar o comportamento da mesma e fazer uma análise comparativa com o atual cenário, que é o pavimento com a utilização do asfalto convencional. O artigo é estruturado em seis seções: o primeiro tópico ressalta a importância do tema. O tópico 2 traz uma breve revisão sobre pavimento, interação pavimento e água, precipitação, drenagem do pavimento

e CPA. A etapa 3 apresenta os materiais e métodos utilizados no estudo. No item 4, é apresentado o estudo de caso. No item 5 expõem-se os resultados e discussões. Por fim, na última seção, apresenta-se as considerações finais.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pavimento

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, constituída sobre a superfície da terraplenagem. Tem como funções econômica e tecnicamente são: resistir a esforços verticais provenientes do tráfego de veículos e redistribuí-los ao subleito; proporcionar aos usuários melhores condições de rolamento, com economia, conforto e segurança (DNIT, 2006c; BERNUCCI *et al.*, 2008).

2.2 Presença de água na superfície do pavimento

A água interfere na segurança dos usuários da via, pois pode interferir na aderência pneu-pavimento. Segundo Bernucci (2008), esta é um dos aspectos funcionais de um pavimento que influenciam a segurança em pistas molhadas que é mais afetado, embora não haja muita tradição em realizar sua avaliação ou medida em rodovias, sendo mais comum em aeroportos.

Um dos fenômenos mais comuns diante do acúmulo de água na superfície do revestimento é a hidroplanagem ou aquaplanagem, que acontece quando os pneus perdem o contato com pavimento por conta de uma fina camada de água não rompida pela textura da pista ou pelas ranhuras dos pneus. Caso esse contato seja apenas reduzido, pode-se perder o controle da direção do veículo ou prejudicar a capacidade de frenagem do mesmo, por exemplo aumentando as distâncias de frenagem. A interação entre o pneu e o pavimento é complexa, que leva em consideração fatores como adesão entre a borracha e o pavimento, que dependem de fatores microscópico e macroscópicos da superfície do revestimento (BERNUCCI *et al.*, 2008).

2.3 Drenagem do Pavimento

A presença de água na estrutura do pavimento é prejudicial tanto para o desempenho estrutural como para a segurança dos usuários da rodovia. Desse modo, utiliza-se a drenagem, técnica que tem como principal função a eliminação da água que, independentemente da forma, atinge o pavimento, captando esta e a conduzindo para locais em que afete de maneira mais branda a durabilidade e a segurança da via (DNITa, 2006).

2.4 Camada Porosa de Atrito (CPA)

As misturas asfálticas aberta do tipo CPA são materiais capazes de manter elevados

percentuais de vazios interconectados preenchidos com ar provenientes de reduzidas concentrações de fíler, de agregado miúdo e de ligante asfáltico. Por essas razões pode ser usada como um revestimento drenante ou permeável (BALBO, 2007; BERNUCCI *et al.*, 2022). Os índices de vazios observados nesse tipo de mistura variam entre 18% e 25%, enquanto que nas misturas habituais, flutuam entre 3% e 5% (DNER-ES 386, 1999; DNIT-ES 031, 2006b).

Esse tipo de revestimento tem a capacidade de coletar a água da chuva para o seu interior e possibilitar rápida percolação da mesma devido à sua elevada permeabilidade, por sua vez, possibilitando que a água alcance os dispositivos de drenagem. Como consequência, a CPA tem o potencial para aumentar a segurança das rodovias, uma vez que é capaz de reduzir: (1) a espessura da lâmina d'água na superfície de rolamento e, conseqüentemente, as distâncias de frenagem; (2) o spray proveniente do borrimo de água pelos pneus dos veículos, aumentando assim a distância de visibilidade; (3) a reflexão da luz dos faróis noturnos. (BERNUCCI *et al.*, 2022). A Figura 1 mostra a diferença visual notada entre uma superfície revestida com o concreto asfáltico comumente utilizado e um revestimento que possui a CPA.

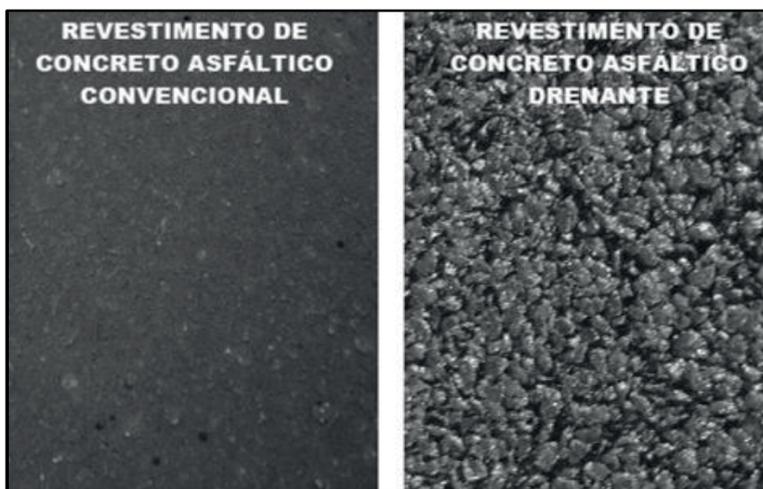


Figura 1 – Comparação entre a superfície de concreto asfáltico convencional e revestimento de concreto asfáltico drenante.

Fonte: (DUMKE, 2005).

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Algumas etapas precisam ser seguidas para se verificar a capacidade que um dado revestimento asfáltico pode ter na redução da formação de lâminas de água sobre a superfície de rolamento de uma rodovia segundo seu potencial de armazenamento. Deve-se: (1) o volume de vazios interligados da mistura asfáltica; (2) o percentual de escoamento

da água que cai sobre o revestimento; (3) a espessura da camada de revestimento; (4) determinar os parâmetros hidrológicos da bacia hidrográfica na qual a rodovia será implantada; (5) determinar o tempo de retorno da chuva a ser considerada; (6) calcula-se a os volume de precipitação que espera-se que caia sobre o revestimento; (7) calcula-se os volumes escoados e armazenados pelo revestimento; (8) compara-se os volumes.

Para o cálculo dos volumes foi adotado o procedimento proposto por Leão e Dias (2014) e Manual de drenagem de rodovias (DNIT, 2006a). As equações necessárias à sua aplicação são apresentadas no Quadro 1.

Cálculo da intensidade pluviométrica (mm/s)	$i = \frac{k \times Tr^a}{(t_c + b)^c}$	(1)
Volume de chuva precipitado (l)	$V_i = i \times t_c \times A$	(2)
Cálculo da vazão de chuva pelo Método Racional ($10^{-05}m^3/s$)	$Q = C \times i \times A$	(3)
Volume de chuva escoada (l)	$V_e = Q \times t_c$	(4)
Capacidade de armazenamento de água na camada (l)	$V_a = P_v \times H \times A$	(5)

Quadro 1: Equações utilizadas para determinação dos volumes escoados e armazenados pelo revestimento asfáltico.

Fonte: adaptado de (DNIT, 2006a) e Leão e Dias (2014).

Em que:

i : intensidade pluviométrica;

k , a , b , c : parâmetros estatísticos, coeficientes de ajustamentos específicos para cada localidade;

Tr : tempo de retorno da chuva considerada, em anos;

t_c : tempo de concentração da bacia hidrográfica, em minutos;

Q : vazão;

V_p : volume de chuva precipitado sobre a área drenada;

C : coeficiente de escoamento superficial ou deflúvio;

A : área drenada, m^2 ;

H : altura do revestimento, em metros;

P_v : percentual de vazios interconectados;

V_e : volume de chuva escoada;

V_a : volume de chuva armazenada.

4 | ESTUDO DE CASO

Escolheu-se a Avenida Ayrton Senna, no bairro da Barra da Tijuca, para a elaboração desse estudo. Essa infraestrutura se encontra na cidade do Rio de Janeiro - RJ, que possui cerca de 6,7 milhão de habitantes (IBGE, 2022). Em toda sua extensão, pode-se verificar a existência de shopping centers, 3 hospitais, diversos pontos comerciais, um aeroporto nas imediações (Aeroporto de Jacarepaguá) e, também, a Estação Alvorada do BRT. Os volumes médios diários anuais dos dias úteis dessa rodovia estão entre 100 mil e 170 mil. Essa avenida é composta por 2 pistas para os veículos, 1 central e 1 lateral (em cada sentido), compostas de 3 faixas (ambas), com velocidade de 80km/h para as pistas centrais e 60km/h para as laterais, e uma pista exclusiva para o BRT (SINFRERJ, 2022; GOOGLE EARTH, 2022). Quanto a pluviometria, a cidade do Rio de Janeiro tiveram um valor acumulado total anual médio de 1.534,5 mm de chuva, enquanto a estação de medição mais próxima a rodovia em questão teve um acumulado superior à média da cidade, atingindo 1.658,6 mm no ano de 2019 (FIGM, 2019).

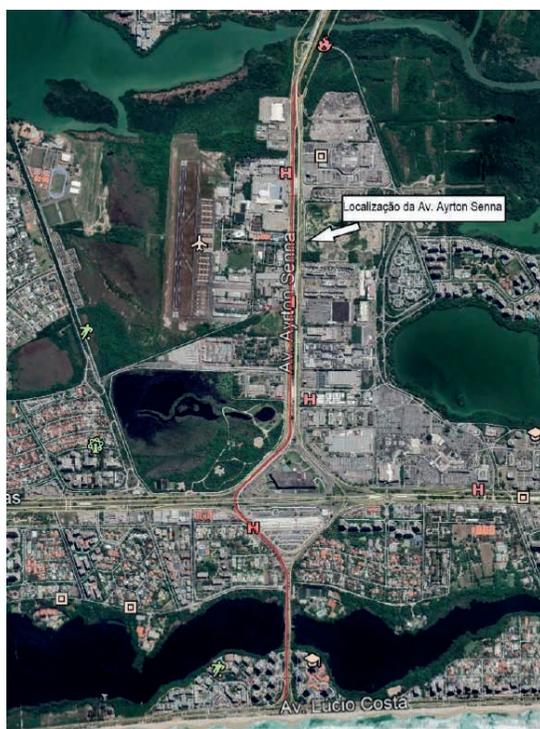


Figura 2 – Localização da Avenida Ayrton Senna.

Fonte: (GOOGLE EARTH, 2022)

No caso do revestimento convencional de concreto betuminoso considerou-se: o

índice de vazios de 5%, seguindo recomendação da DNIT-ES 031 (2006b); espessura do revestimento também de 5 cm e coeficiente de escoamento superficial de 0,85, conforme DNIT (2006a). Para a CPA, foram consideradas premissas propostas por Alessi, Kokot e Gomes (2006): volume de vazios interligados de 25%; espessura da camada de 5 cm; coeficiente de escoamento superficial de 0,59.

Quanto aos parâmetros referentes a intensidade pluviométrica do local, foi utilizado o software Plúvio 2.1, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) – DEA, da Universidade Federal de Viçosa (UFV) - Relatório do programa Plúvio 2.1; fornecendo os coeficientes $k = 4.404,475$; $a = 0,226$; $b = 50,107$; $c = 0,998$; para a latitude $22^{\circ}59'23''$ e longitude $43^{\circ}21'57''$. Para o tempo de concentração foi considerada a duração de 10 minutos. Com relação ao tempo de retorno considerou-se 10 anos e 25 anos, ambos seguindo as orientações de Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana, (RA, 2010), elaborado pela Rio-Águas (Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro). Além disso, considerou-se uma área de drenagem de 1 m^2 .

5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para os valores acima considerados obteve-se uma intensidade pluviométrica de $0,0345 \text{ mm/s}$ e um volume de chuva precipitado sobre a área drenada de $20,72$ litros para o tempo de retorno de 10 anos. A intensidade pluviométrica e o volume de chuva precipitado sobre a área drenada foram de $0,0424 \text{ mm/s}$ e $25,49$ litros, respectivamente.

A seguir, estão dispostos no Quadro 2, os volumes escoados e volumes armazenados para as opções de revestimento avaliadas.

Revestimento	Volume precipitado (l)	Volume escoado (l)	Volume armazenado na camada (l)	Volume passível de formação de filme de água (l)
Convencional (Tr=10)	20,72	17,61	2,50	0,61
CPA (tr=10)	20,72	12,22	12,50	0
Convencional (Tr=25)	25,49	21,66	2,5	1,33
CPA (tr=25)	25,49	15,04	12,50	0

Quadro 2: resumo de resultados obtidos para os revestimentos avaliados.

Considerando-se um tempo de concentração de 10 minutos e com um tempo de retorno de 10 anos para a região de implantação da rodovia na Avenida Ayrton Senna, na cidade do Rio de Janeiro, verifica-se que o volume que a solução convencional conseguiria escoar, de 85% do volume que precipita sobre a pista, já formaria uma película de água que

pode diminuir a segurança pela possível formação de spray. Enquanto que a CPA escoaria 59% desse mesmo volume, mas teria capacidade de acumular 140% da quantidade não escoada, o que deixaria uma folga para uma intensidade chuvosa maior do que a prevista no local.

Por outro lado, para o mesmo tempo de concentração e para um tempo de retorno de 25 anos, a pior condição prevista em (RA, 2010) para elementos de drenagem, observa-se que o volume acumulado na superfície do revestimento cresce, possibilitando a criação de um filme de 1,3 milímetros, considerando uma área de 1 m² e uma superfície sem nenhum defeito como afundamento de trilha de roda.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse estudo foi analisar da utilização da CPA em pavimentos rodoviários, a fim de melhorar a drenagem do pavimento, diminuindo a lâmina d'água presente na superfície e gerando mais segurança aos usuários de rodovias no município do Rio de Janeiro. Considerando o procedimento metodológico proposto e posto em prática concluiu-se que os revestimentos do tipo CPA têm potencial para serem aplicados em rodovias cariocas em condições pluviométricas mais severas do que as encontradas na maior parte da cidade e contribuir para a melhoria da segurança viária.

Como proposta para trabalhos futuros propõem-se a verificação de diferentes regiões da cidade e diferentes vias para tentar se mapear um potencial malha viária na qual a implantação de CPA ocorresse de forma economicamente eficiente e proporcionasse mais segurança.

REFERÊNCIAS

- ALESSI, Fernando; KOKOT, Pedro Júnior; GOMES, Júlio. **Comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso**. Da Vinci, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 139-156, 2006. Disponível em: <https://xdocs.com.br/doc/310-comparacao-do-escoamento-superficial-1-qnjxlj6wwn6>. Acesso em: 09 set. 2022.
- BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: Materiais, projetos e restauração**. São Paulo, Oficina de Textos, 2007.
- BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008. 504 p. Disponível em: <http://www.abeda.org.br/livros/>. Acesso em: 09 set. 2022.
- BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2022.
- DAIBERT, Raphael Ferreira *et al.* **Estudo da aplicação de camada porosa de atrito (CPA) para redução de acidentes em dias chuvosos em trecho experimental**. São Paulo, 2019.

DNIT. **Manual de drenagem de Rodovias**. 2.ed. Rio de Janeiro: DNIT:IPR, 333 p. 2006a.

DNIT. Norma DNIT 31/2006 - ES – **Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico - Especificação de serviço**. ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006b.

DNIT. **Manual de pavimentação. 3º edição - Publicação IPR – 719**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro. 2006c.

DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Pavimentação - pré-misturado a quente com asfalto polímero - camada porosa de atrito**. Rio de Janeiro: DNER:IPR, 1999. 15p.

DRESCH, Fernanda. **Comportamento de misturas asfálticas tipo camada porosa de atrito (CPA)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia. Universidade de Santa Maria (UFSM). Santa Maria – RS, 2016.

DUMKE, Marilan Pedro. **Concreto asfáltico drenante com fibras de celulose, ligante modificado por polímero e asfalto-borracha**. 2005. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

FIGM (Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro). **Relatório Anual de Chuva para a cidade do Rio de Janeiro no ano de 2019**. Rio de Janeiro: Geo-Rio/Dpr/Cgmo/Gmo, 2020. (N.º 002/2020). Disponível em: http://www.sistema-alerta-rio.com.br/wp-content/uploads/2020/08/RELATORIO_ANUAL_CHUVA_2019.pdf. Acesso em: 09 set. 2022.

GOOGLE EARTH, 2022. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-22.99430156,-43.36569255,4.06439829a,500d,35y,358.74167432h,0t,0r> . Acesso em 10/10/2022.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e estados**. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/rio-de-janeiro.html>>. Acesso em: 10/11/2022.

LEÃO, Jardel Egg Carvalho; DIAS, Thalita Cardoso. **Estudo de concreto asfáltico drenante: Camada Porosa de Atrito (CPA)**. 2014. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) Campus Alto Paraopeba, Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ). Ouro Branco - MG, 2014.

RA (Rio-Águas). **Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana**. Rio de Janeiro: O/Sub – Rio-Águas, 2010. 60 p.

SINFRRERJ, Sindicato das Empresas de Transporte de Passageiro por Fretamento do Estado do Rio de Janeiro, **Estatísticas de volume de tráfego**. 2022. Disponível em: <https://www.sinfrerj.org.br/site/index.php/textos/pagina/152/Estatisticas-de-volume-de-trafego>. Acesso em: 10/11/2022.

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO DO SORO DO LEITE POR ULTRAFILTRAÇÃO, UTILIZANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Data de aceite: 02/05/2023

Vinicius Holz Boemeke

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense - Câmpus Pelotas, Discente, Bacharelado em Engenharia Química Canguçu – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/3790811250020512>

Régis da Silva Pereira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense - Câmpus Pelotas, Docente Orientador, Bacharelado em Engenharia Química Rio Grande – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/5446349260364884>

RESUMO: O soro de leite é um subproduto da fabricação de queijo, necessitando de tratamento para ser descartado. Na forma líquida, pode ser utilizado para fabricação de queijos frescos, bebida láctea e ração animal. Na forma de pó, suas aplicações aumentam, podendo ser usado como substituto do leite em pó em diversos produtos alimentares. A concentração do soro pode ser realizada através da ultrafiltração. Apesar das vantagens, este processo pode ser limitado pela polarização por concentração e pelo fouling. Desta

forma, o objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência da concentração do soro do leite por ultrafiltração, em função da concentração da alimentação, temperatura, pressão e resistência da membrana, utilizando simulação computacional. A eficiência do processo de ultrafiltração do soro do leite em diferentes condições foi avaliada através dos valores de fluxo de permeado. Os resultados mostram que valores mais elevados de pressão aumentam o fluxo de permeado, enquanto pressões muito baixas podem levar o sistema ao equilíbrio antes do tempo sugerido para um ciclo de operação. Já a resistência característica da membrana pode levar aos maiores fluxos de permeado quando forem utilizadas membranas de alta permeabilidade. A elevação da temperatura de operação aumenta a quantidade de permeado, mas valores excessivos não são recomendados por causarem degradação do produto. O fluxo de permeado diminui com o aumento da concentração de alimentação, tornando o processo dependente das características do leite utilizado como matéria-prima e do processo de fabricação de queijo do qual o soro é obtido.

PALAVRAS-CHAVE: Fluxo de permeado; frente de equilíbrio; fouling; Scilab.

INFLUENCE OF OPERATING CONDITIONS ON THE WHEY CONCENTRATION PROCESS BY ULTRAFILTRATION USING COMPUTER SIMULATION

ABSTRACT: Whey is a byproduct of cheese making, requiring treatment to be disposed. When is liquid, it can be used for the manufacture of fresh cheese, milk drink and animal feed. In powder form, its applications increase and can be used as a substitute for milk powder in various food products. The whey concentration can be performed by ultrafiltration. However, this process can be limited by concentration polarization and fouling. Thus, the objective of this research is evaluating the influence of whey concentration, membrane resistance, temperature and pressure of ultrafiltration operation, using computer simulation. The efficiency of the whey ultrafiltration process under different conditions was evaluated by permeate flow values. The results show that higher pressure values increase permeate flow, while very low pressures may take the system to equilibrium before the time suggested for an operating cycle. The characteristic membrane resistance can lead to higher permeate fluxes when high permeability membranes are used. Increasing the operating temperature improve the amount of permeate, but excessive values are not recommended as they cause product degradation. The permeate flow decreases with the increasing of initial whey concentration, making the process dependent on the milk characteristics and cheese production.

KEYWORDS: Permeate flow; equilibrium front; fouling; Scilab.

1 | INTRODUÇÃO

O soro de leite é um subproduto da fabricação de queijo, sendo a parte líquida do leite que se separa do coágulo devido a precipitação e remoção da caseína durante as etapas de corte, aquecimento, enformagem e prensagem. Em volume, representa cerca de 90% da matéria-prima utilizada, contendo cerca de 55% dos nutrientes do leite, entre eles lactose, proteínas solúveis, lipídeos e sais minerais (RECH, 2003).

Devido ao baixo valor comercial e dificuldade de armazenamento e conservação, o soro do leite muitas vezes é considerado um efluente. Em alguns casos, é descartado diretamente em rios ou a estação de tratamento não elimina corretamente a matéria orgânica presente. No Brasil, a Resolução nº 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) exige o tratamento antes do descarte devido sua alta carga orgânica (SILVA et al., 2018).

Uma forma de evitar o descarte e a necessidade de tratamento de efluentes é a reutilização deste subproduto. O soro do leite na forma líquida, não é vantajoso para a indústria devido ao alto custo com transporte e risco de deterioração devido à grande atividade de água. Além disso, a grande quantidade de açúcar presente o torna não recomendável ao consumo humano direto, devido a problemas de intolerância. Sua utilização é limitada a ração animal, bebidas lácteas e ricota (WONG et al., 1999).

A concentração deste soro diminui problemas relacionados ao mesmo, além de que o fracionamento de seus componentes aumenta a possibilidade de aplicações (MILLER et al., 1999). Por não ser higroscópico, o soro pode ser utilizado como veículo de dispersão

em misturas secas como sorvetes, salgados e sobremesas. Se reduzido o teor de lactose, o soro pode ser utilizado em produtos industrializados como molhos, queijos e carnes quando se necessita uma quantidade menor desse açúcar e maior teor proteico. Já o soro desmineralizado pode ser utilizado para sobremesas e produtos de confeitaria, nesse caso o alto teor de lactose serve como fonte de carboidratos (LAGRANGE e DALLAS, 1997).

Apesar da baixa concentração de proteínas, o soro pode ser enriquecido por processos como filtração. Um derivado do soro que possui mais de 25% de proteínas em base seca é denominado concentrado proteico do soro (CPS). Se possuir mais de 90%, é classificado como isolado proteico do soro (IPS) (YADA, 2000). Esses produtos possuem diversas aplicações na indústria devido as propriedades funcionais que apresentam em diferentes concentrações proteicas, podendo substituir o leite em pó em algumas utilizações como produtos cárneos, panificação, biscoitos, sorvetes, bebidas, chocolates, fármacos, rações e suplementação alimentar esportiva e nutricional (NUNES et al., 2018).

O processamento do soro com objetivo de obtenção do produto concentrado pode ser realizado através de processos de separação por membranas, onde o líquido passa por membranas com microporos que permitem a separação de moléculas com alta seletividade, baixo consumo de energia e menor tempo comparado a outros processos. As técnicas mais utilizadas são a microfiltração, nanofiltração, ultrafiltração e osmose reversa (BOSCHI, 2006).

Apesar das vantagens, este processo pode ser limitado pela polarização por concentração, formação de uma camada limite de concentração causada pelo acúmulo de solutos na superfície da membrana. Além disso, pode ter sua eficiência afetada pelo fouling, sendo a adsorção de partículas na superfície ou no interior dos poros da membrana como resultado da utilização de condições operacionais inadequadas (BALDASSO, 2011).

A obtenção de concentrados proteicos é uma forma de valorização do soro do leite, devido as suas aplicações industriais. Tal processo tem sido realizado através da ultrafiltração pois retém completamente as proteínas do soro, eliminando quantidades maiores de lactose e sais minerais. Desta forma, o objetivo deste trabalho é a avaliação da influência das condições operacionais da ultrafiltração para obtenção de produto concentrado do soro de leite, através de simulação computacional.

2 | METODOLOGIA

A modelagem do processo de ultrafiltração utilizada foi proposta por Song e Wang (1997) que trata de forma detalhada a formação do fouling através do conceito de frente de equilíbrio. A fim de avaliar o desempenho da ultrafiltração na concentração do soro do leite, foi analisada a influência das seguintes condições de operação: concentração e fluxo de alimentação do soro de leite, temperatura e pressão de filtração. As simulações foram realizadas utilizando para cada variável três tratamentos diferentes, mantendo as demais

no valor médio.

As condições de operação avaliadas foram: pressões de 1 a 20 atm e temperaturas de 5 e 35°C, segundo a patente proposta por Buhler et al (1977), faixas que compreendem os valores utilizados também por Brião et al (2018). Estes valores de temperatura são indicados para que não ocorra degradação das proteínas devido ao calor. Com relação ao fluxo de alimentação, Buhler et al (1977) sugere entre 8 a 16 L.h⁻¹.m⁻², o que associado as demais condições utilizadas representa resistência da membrana de 2,28x10¹⁰ a 9,12x10¹¹ Pa.s.m⁻¹. A concentração de alimentação pode variar de 0,7 a 1,2%, conforme Baldasso (2011).

Os dados de entrada utilizados para as simulações, além das variáveis em estudo foram aquelas elencadas na Tabela 1. Estas grandezas previamente estabelecidas foram utilizadas para determinar o coeficiente de difusividade, a pressão crítica, a resistência da membrana desobstruída, o coeficiente de bloqueio do poro e a porosidade da torta.

Variável	Símbolo	Valor
Raio da partícula	a_p	6,93 nm
Concentração do gel	c_g	4,5%
Número crítico de filtração	N_{Fc}	0,24
Viscosidade da solução	μ	1,1.10 ⁻³ Pa.s ⁻¹
Taxa de cisalhamento	Y_0	10 ³ s ⁻¹
Comprimento do tubo	L	1 m
Constante de Boltzmann	k	1,38,10 ⁻²³ J/K

Tabela 1: Constantes da simulação

Para cada instante de tempo, foi calculada a localização da frente de equilíbrio e o fluxo médio do processo. A frente de equilíbrio foi avaliada até que essa atingisse o comprimento total da membrana. Já as simulações envolvendo o fluxo médio de equilíbrio foram realizadas até o período de 24 horas, já que são recomendadas limpezas diárias no equipamento, levando a tempos de operação ininterrupta inferiores a um dia. As simulações foram realizadas no software *Scilab*.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados da validação do modelo e da influência e das variáveis de processo de ultrafiltração do soro do leite para obtenção do concentrado proteico.

Validação

A validação do modelo foi verificada através da comparação da simulação do fluxo

volumétrico de permeado na região de não equilíbrio utilizando as condições e dados fornecidos por Song e Wang (1997). Comparando as Figuras 1 e 2, é possível observar que os obteve-se comportamentos semelhantes e diferença entre os resultados foi não significativa, apontando para a adequação do modelo utilizado.

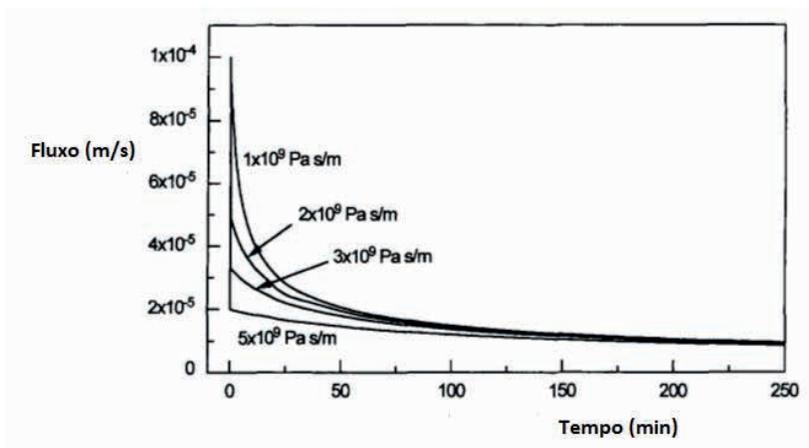


Figura 1: Simulação do fluxo volumétrico de não equilíbrio ao longo do tempo realizada por Song e Wang (1997).

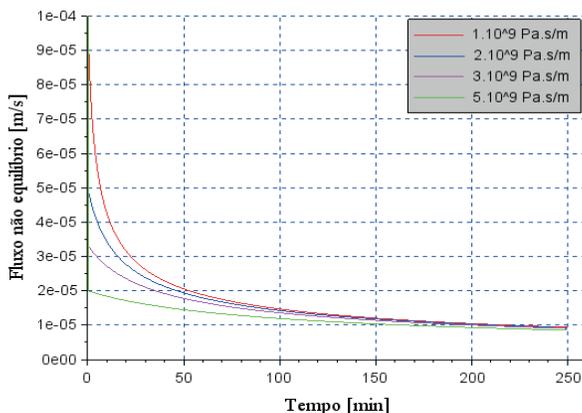


Figura 2: Validação do modelamento utilizado realizada em Scilab.

Efeitos da Pressão

A aplicação de pressões mais elevadas leva a tempos de equilíbrio maiores, já que esta é a força motriz responsável por vencer as resistências impostas pela membrana, pelo bloqueio dos poros e pela camada de torta formada, induzindo o fluxo de permeado, conforme pode ser observado na Figura 3. Este mesmo comportamento pode ser percebido pelos fluxos maiores de permeado ao longo do tempo para a pressão de 20 atm (Figura

4). Entretanto, não se deve aumentar em demasia os valores de pressão, pois um excesso pode causar compactação da torta e favorecer o processo de entupimento (ANADÃO, 2010). Este fenômeno não pode ser verificado através do modelo utilizado porque nele é considerada a incompressibilidade da torta.

Conforme a Figura 3, o sistema atinge o equilíbrio muito rapidamente quando utilizada a pressão mínima. Isso ocorre porque pressões menores provocam um fluxo inicial de permeado menor, mais próximo do valor de fluxo de equilíbrio, que independe da pressão.

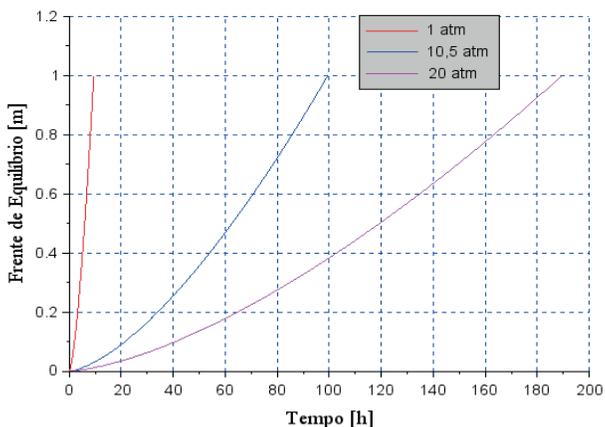


Figura 3: Posição da frente de equilíbrio ao longo do tempo para diferentes pressões.

Na Figura 4, em torno de 24 horas de operação, é possível observar que o sistema está distante do equilíbrio, permitindo a continuidade do processo. Entretanto, são recomendadas limpezas diárias na estrutura da membrana, isto porque se trabalha com derivados do leite que são altamente perecíveis e podem se tornar fonte de contaminação. Além disso, após 24 horas de trabalho na pressão máxima, há redução de cerca de 23,5% no valor do fluxo de permeado.

Ainda é possível observar que, para a menor pressão utilizada, o fluxo atinge o equilíbrio em período inferior a 24 horas, com característica ascendente durante o processo, ao contrário da tendência decrescente das demais simulações. Isso ocorre porque a baixa pressão induz um fluxo muito inferior àquele presente no equilíbrio que, segundo Geankoplis (1998), favorece o fluxo difusivo através da membrana. Sendo este fluxo difusivo, mais elevado que aquele dependente da pressão, o comportamento observado será o acréscimo do fluxo até um ponto de equilíbrio.

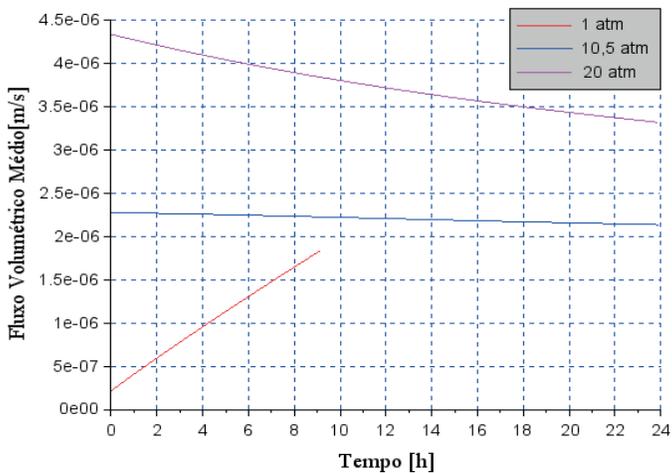


Figura 4: Fluxo volumétrico médio de permeado ao longo do tempo para diferentes pressões.

Efeitos da resistência da membrana

Ao contrário da pressão aplicada no processo, a resistência da membrana é a grandeza que se opõe ao fluxo de permeado. Tendo em vista que esta resistência está associada a características da própria membrana, como porosidade e distribuição simétrica ou assimétrica dos poros, ela não diz respeito às características da torta de material retido formado sobre ela ao longo do processo, logo, não tem influência no avanço da frente de equilíbrio.

Já em relação ao fluxo volumétrico médio, mostrado na Figura 5, menores resistências induzem um fluxo de permeado inicial mais elevado, que demora um tempo maior para atingir valores próximos ao equilíbrio. A resistência da membrana está associada às suas características, como tamanho e disposição dos poros e sua composição. Segundo Anadão (2010), maiores valores de fluxo podem ser atingidos com modificações na estrutura da membrana. Na indústria de laticínios, as membranas mais utilizadas são constituídas de poli(éter-sulfona), devido a características como resistência térmica e a acidez e facilidade de limpeza (LEITE et al., 2006).

Em seu trabalho, Marques (2017) utiliza diferentes concentrações de dopamina, que possui capacidade de polimerizar-se em atmosfera oxidante e interagir com a maioria das superfícies, como proposta de modificação das propriedades anti-incrustantes das membranas. Os resultados mostram que a concentração de dopamina influencia na permeabilidade inicial das membranas, que possuem relação inversa com sua resistência característica.

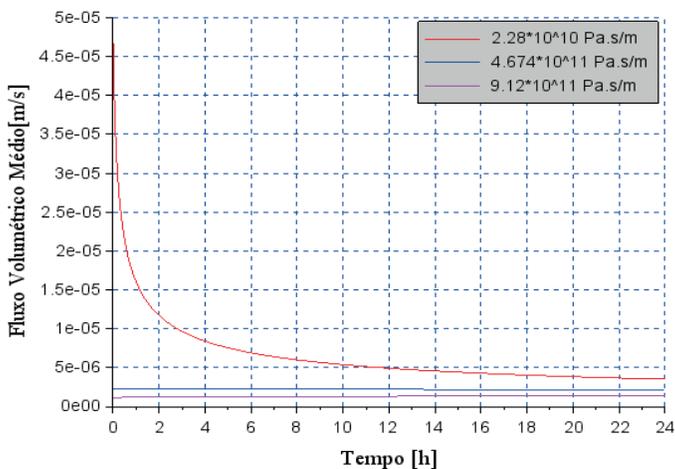


Figura 5: Fluxo volumétrico médio de permeado ao longo do tempo para diferentes resistências de membrana.

Efeitos da temperatura

O aumento da temperatura leva a redução do tempo de equilíbrio (Figura 6). Entretanto, pode-se observar que o equilíbrio é atingido em tempos muito superiores a 24 horas, tempo no qual é observado o equilíbrio apenas nos primeiros 10 cm de membrana e diferenças muito pequenas para as diferentes temperaturas.

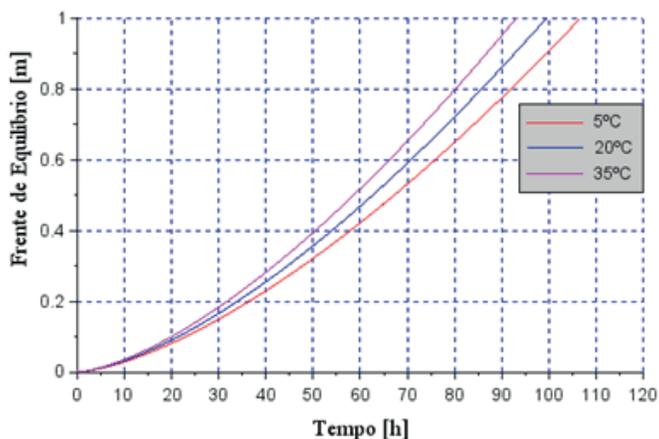


Figura 6: Posição da frente de equilíbrio ao longo do tempo para diferentes temperaturas.

Já o fluxo de equilíbrio é afetado pela temperatura através da difusividade, apresentando valores maiores para temperaturas mais elevadas ao final de 24 horas de operação, conforme Figura 7. O fluxo na temperatura de 35°C é cerca de 1,1% superior em

relação à temperatura de 20°C, o que representa uma vantagem. Na tentativa de explorar esta tendência, foi avaliada a operação a 70 °C, uma vez que esta é a temperatura na qual o soro do leite sai do pasteurizador, com o objetivo de conservar as condições responsáveis pelo controle da qualidade microbiológica do produto (KUIPERS, 1974).

Os resultados mostram um aumento de 2,8% no fluxo em relação a temperatura de 35°C. Entretanto, Buhler et al. (1977) não aconselham condição tão elevada, pois altas temperaturas podem ocasionar a degradação das estruturas proteicas presentes no soro, diminuindo a qualidade do produto obtido.

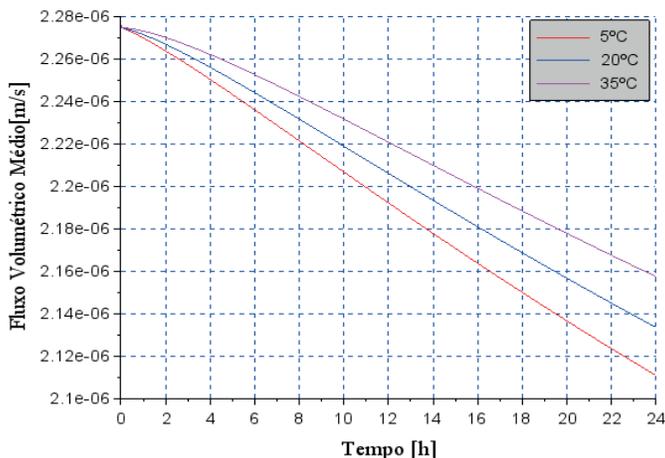


Figura 7: Fluxo volumétrico médio de permeado ao longo do tempo para diferentes temperaturas.

Efeitos da concentração inicial

O aumento da concentração alimentada promove redução do tempo para atingir o equilíbrio, conforme Figura 8. Como esperado, o fluxo de permeado é maior operando em concentrações menores de alimentação (Figura 9). Esta variável não interfere no fluxo inicial, porém modifica o comportamento em relação ao tempo, já que a alta concentração de sólidos influencia na penetração de partículas na estrutura da membrana, provocando o fouling e a formação de torta, gerando resistências adicionais no processo (HOLDICH, 2002).

Assim, espera-se maior eficiência de operação em soros menos concentrados em teor de proteínas. Entre as condições que influenciam esta composição estão a sazonalidade, a raça de bovino do qual foi obtido o leite e o tratamento que esta matéria-prima recebeu, como a pasteurização, homogeneização e o tipo de queijo que foi fabricado a partir dele.

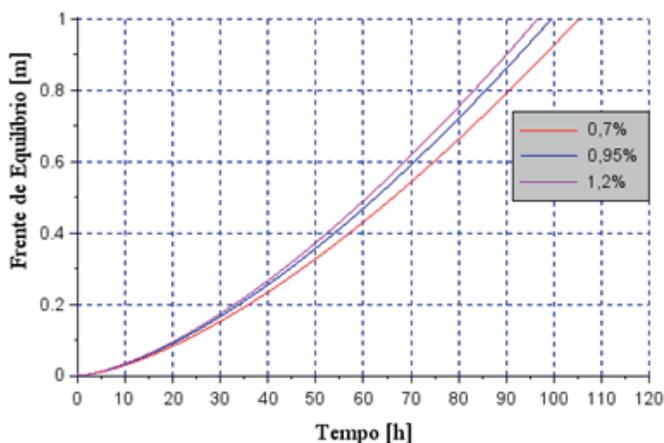


Figura 8: Posição da frente de equilíbrio ao longo tempo para diferentes concentrações de alimentação.

A partir da Figura 9, observa-se que a melhor condição foi a alimentação de 0,7%, com fluxo 5% maior em relação à concentração de 0,9%. Sendo possível observar uma pequena elevação no fluxo até aproximadamente 6 horas de simulação. Considerando que o fluxo médio depende das contribuições dos fluxos da zona de equilíbrio e de não-equilíbrio, nas horas iniciais de simulação, a redução de fluxo de não-equilíbrio devido a obstrução dos poros e formação da torta é superada pelo fluxo difusivo.

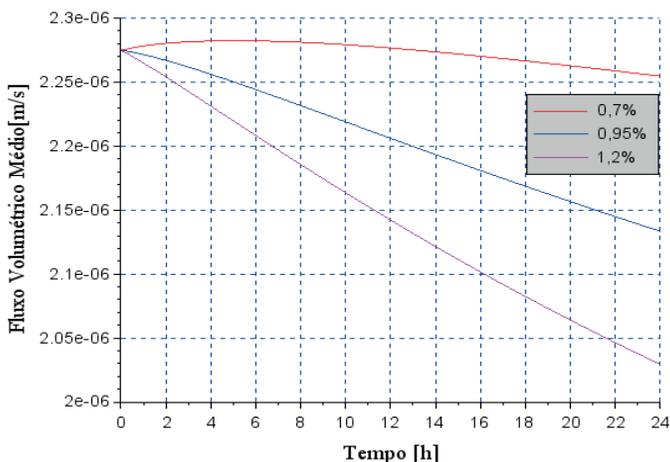


Figura 9: Fluxo volumétrico médio de permeado ao longo do tempo para diferentes concentrações de alimentação.

4 | CONCLUSÕES

Através das simulações realizadas, foram verificadas diferentes influências das variáveis analisadas sobre o fluxo volumétrico médio de permeado. Para a faixa de pressão estudada maiores valores de pressão resultaram em maior tempo para atingir o equilíbrio e maiores valores de fluxo no período de trabalho usual de 24 horas, representando a vantagem de maior processamento de soro no mesmo intervalo de tempo.

No estudo da resistência da membrana desobstruída, observou-se comportamento inverso à pressão. Em valores mais elevados, obteve-se menor tempo para total desenvolvimento da frente de equilíbrio e menores valores de fluxo.

Em relação a temperatura, seu aumento levou a menor tempo para atingir o equilíbrio e maiores fluxos de permeado no tempo de operação. O uso de temperaturas superiores a faixa indicada (5 a 35°C), tende a maximizar estes efeitos, entretanto, não é indicado por alguns autores pela possibilidade de alteração das características do produto.

A concentração de alimentação, mostrou melhores resultados em menores concentrações, onde foi observado maior tempo de equilíbrio e maiores valores de fluxo, com tendência ascendente nas primeiras horas de operação. A variação da quantidade de proteínas no soro poderia ser justificada por fatores relacionados a obtenção da matéria-prima, processamento e do método de fabricação do queijo.

REFERÊNCIAS

ANADÃO, P. **Ciência e Tecnologia de Membranas**. São Paulo: Artliber Editora, 2010.

BALDASSO, C. **Fracionamento dos componentes do soro de leite através da tecnologia de separação por membranas**. 2011. 310p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) -Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal do Rio grande do Sul - Porto Alegre, 2011.

BOSCHI, J. R. **Concentração e purificação das proteínas do soro de queijo por ultrafiltração**. 2006. 119p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Porto Alegre, 2006.

BRIÃO, V. B. et al. **Bebida láctea de baixo teor de lactose adicionada com produtos da ultrafiltração do soro de leite e seu processo de obtenção 2018**, Brasil. BR 102016024530-3 A2. Depósito: 20/10/2016; Concessão: 02/05/2018.

BUHLER, M.; BOHREN, H.-U.; HODEL, T. **Ultrafiltration process for the recovery of proteins from milk 1977**, Suíça. 4,018,752. Depósito: 25/07/2974; Concessão: 04/04/1977.

GEANKOPLIS, C. J. **Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias**. 3ª Edição ed. [s.l.] Compañia Editorial Continental, 1998.

HOLDICH, R. **Fundamentals of Particle Technology**. Loughborough: Midland Information Technology and Publishing, 2002.

KUIPERS, A. Method of preparing a protein concentrate from whey 1975. Alemanha. 3,930,039. Depósito: 25/041974; Concessão: 30/12/1975.

LAGRANGE, V.; DALLAS, P. Produtos de soro dos EUA: disponibilidade, recursos tecnológicos, aplicações. **Engenharia de Alimentos**, p. 27–29, 1997.

LEITE, Z. T. C. et al. Leite e alguns de seus derivados - da antiguidade à atualidade. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 876–880, junho 2006.

MARQUES, I. R. **Redução de incrustação proteica em membranas de ultrafiltração de poli(étersulfona) por deposição de dopamina e polietilenoimina**. 2017. 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Centro tecnológico - Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis, 2017.

MILLER, G.; JARVIS, J.; MCBEAN, L. **Handbook of Dairy Foods and Nutrition**. 2a Edição ed. Illinois: CRC Press LLC, 1999.

NUNES, L. A. et al. O Soro do leite, seus principais tratamentos e meios de valorização. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 1, p. 301, março 2018.

RECH, R. **Estudo da produção de β -galactosidase por leveduras a partir do soro de queijo**. 2003. 86p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Biotecnologia do Estado do Rio Grande do Sul - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

SILVA, R. R.; SIQUEIRA, E. Q.; NOGUEIRA, I. DE S. Impactos ambientais de efluentes de laticínios em curso d'água na Bacia do Rio Pomba. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 217–228, abril 2018.

SONG, L.; WANG, L. Flux decline in crossflow microfiltration and ultrafiltration: Experimental verification of fouling dynamics. **Journal of Membrane Science**, v. 160, n. 1, p. 41–50, setembro 1997.

WONG, N. P. et al. **Fundamentals of dairy chemistry**. Gaithersburg: Aspen Publishers Inc., 1999.

YADA, R. Y. **Proteins in Food Processing**. Cambridge: CRC Press LLC, 2000.

MODELO GEOMECÂNICO CONCEITUAL PARA REATIVAÇÃO DE FALHAS EM RESERVATÓRIOS DE CAMPOS OFFSHORE

Data de aceite: 02/05/2023

Elias Enes de Oliveira

Universidade Federal Fluminense
Niterói - Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/9745481052880427>

Geraldo de Souza Ferreira

Universidade Federal Fluminense
Niterói - Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/7737006660315245>

RESUMO: O aumento da exploração de petróleo em campos offshore tem demandado estudos para o melhor entendimento do comportamento de reservatórios e para garantir a integridade estrutural. Na maioria das vezes tais reservatórios apresentam estruturas complexas como falhas que trapeiam o óleo na subsuperfície, e ao desenvolvê-los é necessário sempre estar atento ao risco de reativação dessas falhas com a alteração da pressão de poros. Esse fenômeno pode causar danos irreversíveis ao meio ambiente e financeiros às operadoras. Este trabalho apresenta um modelo conceitual para estabelecer limites geomecânicos que não comprometam a integridade dos reservatórios reativando as falhas em reservatórios típicos de águas profundas,

e assim provê o suporte necessário para a facilitação do gerenciamento do mesmo.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo geomecânico, reservatórios de petróleo, reativação de falhas, águas profundas.

CONCEPTUAL GEOMECHANIC MODEL FOR FAULT REACTIVATION IN OFFSHORE FIELD RESERVOIRS

ABSTRACT: The increase in oil exploration in offshore fields has required studies to better understand the behavior of reservoirs and to ensure structural integrity. Most of the time, such reservoirs have complex structures such as faults that trap oil in the subsurface, and when developing them, it is always necessary to be aware of the risk of reactivation of these faults with changes in pore pressure. This phenomenon can cause irreversible damage to the environment and financial damage to operators. This work presents a conceptual model to establish geomechanical limits that do not compromise the integrity of the reservoirs by reactivating faults in typical deep water reservoirs, and thus provides the necessary support to facilitate its management.

KEYWORDS: Geomechanical model, oil reservoirs, fault reactivation, deep water.

1 | INTRODUÇÃO

O descobrimento de grandes reservas em reservatórios de águas profundas e ultra profundas tem estimulado e, de certa forma, viabilizado o desenvolvimento das tecnologias de exploração em alto mar (SNYDER, 1977), assim como requerido melhor entendimento do comportamento desses reservatórios ao longo do tempo de desenvolvimento do campo.

Tais reservatórios apresentam estruturas complexas como falhas e fraturas que impactam processos naturais como o transporte de fluidos e as propriedades mecânica das rochas (ZOBACK, 2007). A alteração do estado natural em que se encontram causados pela produção e injeção de fluidos pode comprometer a integridade dessas estruturas. As falhas geológicas que atuam de maneira a trapear o petróleo, podem ser reativadas devido à variação do estado inicial de tensão induzidos pela alteração da pressão de poros (CORDERO, 2013).

Se reativadas, as falhas podem se tornar caminhos preferenciais para o movimento dos fluidos (SOLTANZADEH e HAWKES, 2008), oferecem riscos de perda de contenção dos fluidos de petróleo na subsuperfície, o que pode ser prejudicial economicamente às operadoras e à natureza, principalmente quando resultam em vazamentos.

O presente trabalho apresenta um modelo conceitual geomecânico, também conhecido como Mechanical Earth Model - MEM, com o objetivo de representar o comportamento de falhas geológicas diante a variação da pressão de poros, analisar o potencial de reativação de falhas e, por fim, determinar limites geomecânicos para que não ocorra reativação delas sob a injeção e ou produção de fluidos no reservatório.

2 | FUNDAMENTOS PARA A MODELAGEM GEOMECÂNICA

Segundo PLUMB et al. (2000), modelos geomecânicos são representações do estado de tensão e das propriedades das rochas em uma região da subsuperfície e suas componentes chaves são resistência das rochas e o estado de tensão em que ela se encontra associadas à pressão de poros.

2.1 Falhas e os Regimes de Tensões

De acordo com a teoria proposta por Anderson (1951), as falhas podem ser classificadas em três tipos principais: normal, reversa (ou inversa) e strike-slip. As falhas normais são provocadas em condições de esforços extensionais ou tracionais. Por sua vez, as falhas reversas são geradas em condições de esforços compressivos. As falhas de strike-slip são geradas em regiões afetadas por esforços cisalhantes.

Esses tipos se relacionam genética e espacialmente com os três regimes de tensão diferentes, de acordo com a magnitude das tensões principais ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$), ortogonais entre si, atuantes na rocha. Na superfície do planeta, uma destas tensões principais é sempre vertical. Para as falhas normais, σ_1 é vertical, para as falhas inversas, σ_3 é vertical,

e para as falhas de strike-slip, σ_2 é vertical.

2.2 Relações entre pressão de poros e as tensões

É fundamental entender a relação entre a pressão de poros e o estado de tensão para verificar que há alteração no estado de tensão ao se produzir ou injetar fluidos no reservatório. Para isso, Terzagui (1943) introduziu o conceito de tensão efetiva dado pela equação 1.

$$\sigma'_{1,2,3} = \sigma_{1,2,3} - P_p \quad (1)$$

Onde $\sigma'_{1,2,3}$ é a representação das tensões principais efetivas, $\sigma_{1,2,3}$ as tensões principais totais atuantes na rocha em três direções, e P_p é a pressão de poros. Com essa relação é possível perceber que ao se injetar ou produzir fluidos em um reservatório a pressão de poros será alterada e, como consequência, o estado de tensão.

2.3 O critério de Morh-Coulomb para reativação de falhas

Um critério muito utilizado para verificar se uma rocha submetida a um determinado estado de tensão irá falhar é o de Morh-Coulomb. A alteração da pressão de fluido nos poros provoca o deslocamento para esquerda ou para a direita do círculo que indica os valores do estado de tensão. Caso o círculo, ao se deslocar para a esquerda toque a envoltória de falha ou da rocha intacta ocorre a reativação de falhas ou uma nova ruptura na rocha intacta (RUTQVIST et al, 2002).

3 | O MODELO GEOMECÂNICO - MEM

Com a finalidade de se simular possíveis situações de reativação de falha diante da produção e injeção de fluidos, dois modelos geomecânicos foram construídos: um modelo analítico e outro numérico, que utiliza a versão de estudante do software Abaqus 2017.

3.1 Construção do Modelo e Premissas

Para se construir o modelo conceitual para reativação de falhas, um reservatório com uma falha inclinada em 60 (sessenta) graus e propriedades típicas de reservatórios de águas profundas foi esquematizada como pode-se observar na Figura 1.

As premissas adotadas para o modelo serão utilizadas para ambos os modelos numérico e analítico e são as seguintes: i. Reservatório homogêneo e isotrópico; ii. Regime de falha normal segundo a teoria Andersoniana; iii. Rochas confinadas nas direções laterais; iv. P_p utilizada é igual a pressão hidrostática; v. O reservatório é saturado apenas com água.

Algumas propriedades adotadas na construção do modelo são apresentadas na Tabela 1. Sendo que o coeficiente de Poisson e a coesão utilizados foram os mesmos para a camada superior e para o reservatório, com os valores de 0,35 e 2 GPa, respectivamente. A porosidade do reservatório adotada é de 0,25. Enquanto o gradiente da pressão poros é

utilizado o de 10,516 KPa por metro.

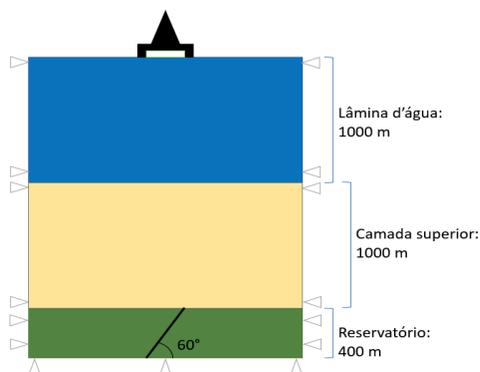


Figura 1. Esboço da geometria utilizada no modelo

Camada	ρ (kg/m ³)	E (MPa)
Camada Superior	2.035	30.000
Reservatório	2.650	50.000

Tabela 1. Dados das propriedades das rochas

Fonte: Compilação própria

Diversos cenários de injeção e depleção são possíveis, mas por critérios de simplificação apenas dois cenários foram selecionados como apresentados na Tabela 2.

	Cenários	
	1	2
Bloco-1	-	-
Bloco-2	Injeção	Depleção

Tabela 2. Cenários selecionados para se construir o MEM

Fonte: Compilação própria

A modelagem geomecânica se dá em dois estágios principais: o primeiro é chamado de geostático, onde o estado inicial de tensão do reservatório se encontra; o segundo é onde haverá variação da pressão de poros e, por consequência, alteração do estado de tensão no reservatório e na falha, que será aplicado para diferentes cenários de variação de pressão de poros ΔP_p – diferença entre a pressão de poros final e a inicial.

4 | RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados e algumas discussões relacionadas às simulações realizadas no Abaqus e dos valores calculados no modelo analítico para reativação de falhas.

4.1 Resultados do Modelo Analítico

Para o modelo analítico foi utilizado critério de Mohr-Coulomb e apenas o caso de injeção foi abordado, pois ao utilizar este critério a depleção deslocaria o círculo de Mohr para a direita, longe do envelope de falha. A Figura 2 mostra o estado inicial de tensão em que a falha do reservatório está submetida.

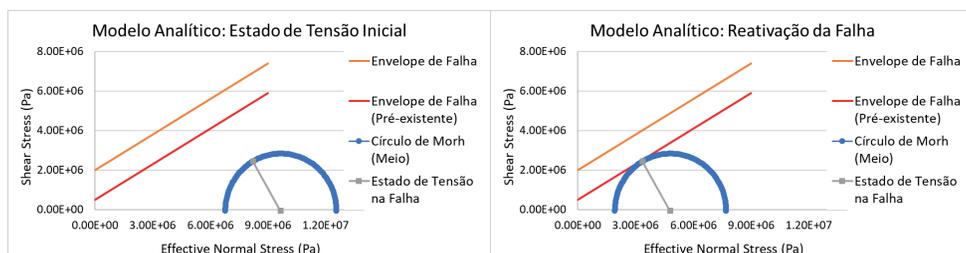


Figura 2. Representação do estado inicial de tensão na falha e da reativação da falha

Um ponto na profundidade do meio do reservatório (-2200 m) foi selecionado para se calcular os valores das tensões normais e cisalhantes para se obter o estado de tensão. Em seguida, incrementos de pressão de poro ΔP_p positivos foram adicionados para fazer com o círculo tocasse no envelope da falha pré-existente no reservatório simulando uma injeção no reservatório, onde se chegou ao número de ΔP_p igual à 4,85 MPa, como pode-se observar na imagem à direita da Figura 2.

4.2 Resultados do Modelo Numérico

O Abaqus utiliza do método dos elementos finitos (MEF) e suas numerosas relações constitutivas para modelar diferentes materiais e torna possível simular o comportamento das rochas com o tempo e sob forças externas, discretizando o contínuo em elementos para simplificar a resolução das equações governantes do problema.

A geometria foi discretizada ao máximo diante da limitação da versão de estudante do software, com elementos do tipo C3D4P e um total de 934 nós. A Figura 3 apresenta a discretização e a distribuição da pressão de poros que será uma condição inicial para se chegar ao estágio geostático e se obter o estado de tensão do reservatório.

4.2.1 Estado Inicial de Tensão

O regime de falha utilizado nesse trabalho é o Normal, a Figura 4 mostra o estado

de tensão inicial do reservatório.

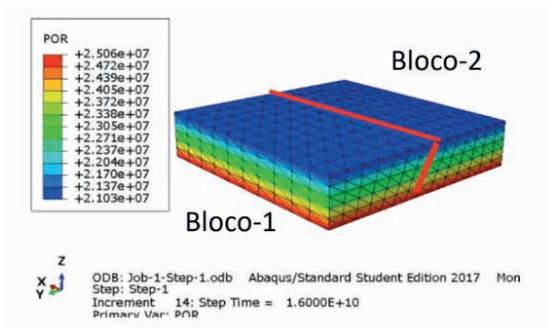


Figura 3. Geometria discretizada e gradiente da pressão de poros do reservatório

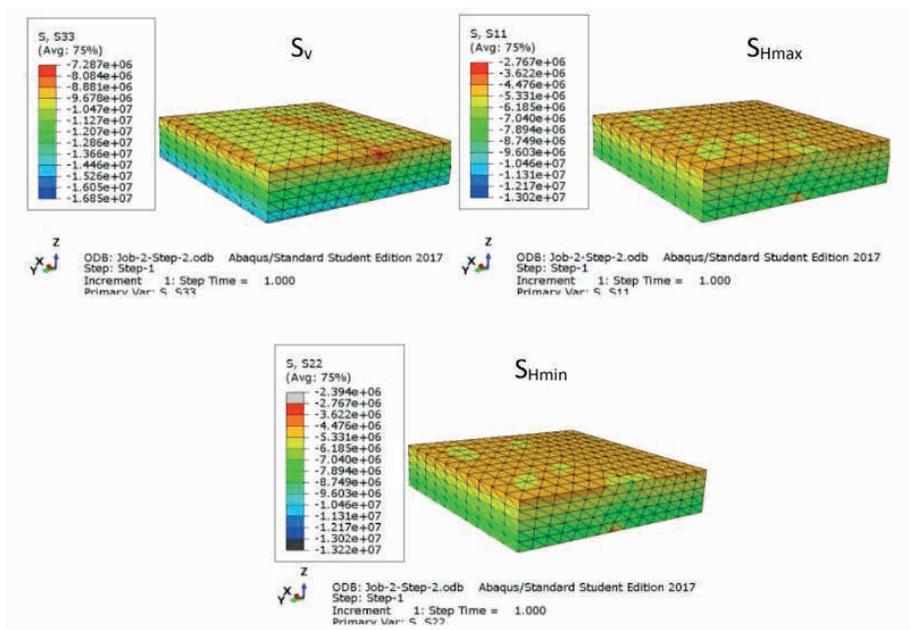


Figura 4. Estado de tensão efetiva inicial para o regime de falha normal

As tensões principais estão representadas na Figura 4 em termos de S_{33} , S_{11} e S_{22} , respectivamente equivalentes à S_v , S_{Hmax} e S_{Hmin} . As tensões efetivas atuantes no reservatório se tornam, na superfície da falha, tensões normais e cisalhantes, as quais variam com a pressão de poros como visto no modelo analítico e propiciam a reativação da falha.

4.2.2 Caso de Injeção e Depleção no Reservatório

No entanto, no Abaqus é possível utilizar interações de superfícies de contato para

simular as propriedades da falha. Como resultado, o software disponibiliza variáveis de saída essenciais para realizar a análise de reativação de falha que é a variável CSTATUS e a CSLIP.

A variável analisada nesse trabalho será a CSTATUS, pois possibilita o mapeamento das regiões da superfície da falha onde os nós deslizam sob determinadas condições. A variável CSTATUS classifica os nós da superfície do modelo em três categorias: Closed (STK) – significa que há contato entre os nós e eles não se movimentam; Closed (SLP) – significa que há contato e há deslizamento na superfície; Open – significa que os nós estão livres de contato.

Algumas situações foram analisadas para verificar o risco de reativação de falha no reservatório para cada cenário apresentado pela Tabela 2. Incrementos de pressão de poro ΔP_p positivos e negativos foram utilizados para se chegar aos valores limites de injeção e depleção no bloco 2, principalmente. A Tabela 3 mostra para quais valores de injeção e depleção os nós na superfície da falha irão ou não deslizar considerados as premissas e as propriedades da falha adotadas no modelo.

ΔP_p (MPa)	INJEÇÃO $\Delta P_p > 0$ (STK ou SLP)	DEPLEÇÃO $\Delta P_p < 0$ (STK ou SLP)
0.00	STK	STK
0.69	STK	STK
1.38	STK	STK
2.07	STK	STK
2.76	STK	SLP
3.45	STK	SLP
4.14	STK	SLP
4.83	SLP	SLP
5.52	SLP	SLP
6.90	SLP	SLP

Tabela 3. Resultados da variável CSTATUS para casos de variação da pressão de poros

Uma comparação entre o estado inicial da variável CSTATUS com as dos valores em que há deslizamento dos nós da superfície é feita na Figura 5 ilustrando apenas o bloco-2, visto que a geometria e os resultados são simétricos. Se a injeção no bloco-2 aumentar a P_p em um valor incremental de 4,83 MPa o risco de reativação da falha é muito grande, e para a depleção o valor é de 2,76 MPa, mas nesse caso para a diminuição da pressão original do reservatório.

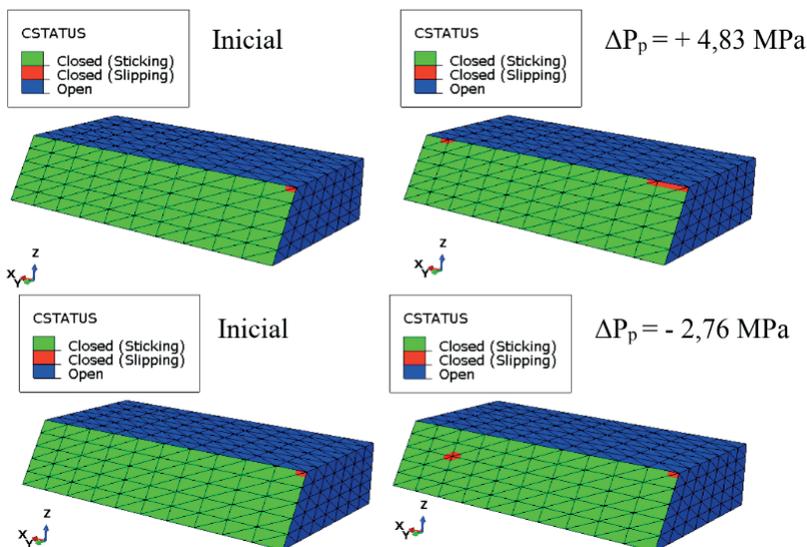


Figura 5. A variável CSTATUS nas condições iniciais e quando há deslizamento na superfície da falha

5 I CONCLUSÃO

O principal objetivo desse trabalho foi construir um modelo geomecânico 3D que simule o estado de tensão de um reservatório típico de águas profundas e que verifique, diante a variação da pressão de poros, o potencial ou probabilidade para a reativação de falhas pré-existentes diante das propriedades utilizadas no modelo, a fim de determinar limites geomecânicos.

Assim, é possível concluir que a abordagem realizada no Abaqus foi bem-sucedida. Os valores de limites geomecânicos foram similares entre o modelo numérico e analítico. Além disso, a utilização de interações de superfícies de no Abaqus propiciou o bom uso da variável de saída para se analisar o deslizamento entre os blocos em ambos os cenários.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, E. M. *The Dynamics of Faulting and Dyke Formation with Applications to Britain*. Oliver and Boyd, Edinburgh, 1951.

CORDERO, J. A. R. *Reativação de Falhas Geológicas com Modelos Discretos e Distribuído*. Rio de Janeiro, 2013. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2013.

PLUMB, R.; EDWARDS, S.; PIDCOCK, G.; LEE, D.; STACEY, B. The Mechanical Earth Model Concept and Its Application to High-Risk Well 117 Construction Projects. IADC/SPE Drilling Conference, 2000, New Orleans, Louisiana. *Proceedings*. IADC/SPE 59128, 2000.

RUTQVIST J., WU, Y. S., TSANG, C. F., BODVARSSON, G. A modeling approach for analysis of coupled multiphase fluid flow, heat transfer, and deformation in fractured porous rock. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 39 (2002) 429–442. 2 February 2002.

SNYDER, L. J. *Deepwater Drilling and Production Technology*. American Petroleum Institute (1977).

SOLTANZADEH, H. AND HAWKES, C.D. Semi-analytical Models for Stress Change and Fault Reactivation Induced by Reservoir Production and Injection. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 60:71–85, 2008.

TERZAGHI, K. *Theoretical Soil Mechanics*. John Wiley and Sons, New York, 1943.

ZOBACK, M. D. *Reservoir Geomechanics*. Cambridge University Press, 2007.

MODELOS DE REGRESSÃO LOGÍSTICA ORDINAL USANDO SOFTWARE LIVRE: UMA APLICAÇÃO À SATISFAÇÃO DO TURISTA EM ACAPULCO, GUERRERO

Data de aceite: 02/05/2023

Octaviano Juárez Romero

docente de la Facultad de Matemáticas-
Universidad Autónoma de Guerrero
ORCID ID 0000-0002-2890-289

Santiago Marquina Benítez

docente de la Facultad de Economía
(Acapulco)-Universidad Autónoma de
Guerrero
ORCID ID 0000-0002-4358-8823

RESUMEN: La modelación matemática en las distintas áreas del conocimiento ha cobrado relevancia favorecida por el incremento del software disponible para su implementación. En particular, la modelación estadística también se ha beneficiado por el incremento de software libre como el paquete estadístico R. El presente trabajo tiene como objetivo la modelación estadística utilizando la metodología de regresión logística ordinal mediante los distintos comandos del paquete estadístico R. Se aplica esta metodología a la actividad turística en Acapulco, Guerrero, en particular a la satisfacción del turista en los servicios de hospedaje y alimentos y bebidas. La base de datos utilizada comprende 465 registros limpios completamente de datos faltantes.

Los modelos seleccionados para cada uno de los servicios satisfacen el supuesto del modelo, satisfacen las pruebas estadísticas de significancia individual y global del modelo. Para la selección de los modelos se utilizan el criterio de la deviance, el AIC y la prueba de bondad de ajuste. Finalmente, los modelos seleccionados como los adecuados pronostican más del 85% de los valores observados de las variables de interés.

PALABRAS CLAVE: Regresión logística ordinal, paquete estadístico R, turismo en Acapulco.

MODELOS DE REGRESIÓN LOGÍSTICA ORDINAL UTILIZANDO SOFTWARE LIVRE: UNA APLICACIÓN A LA SATISFACCIÓN TURÍSTICA EN ACAPULCO, GUERRERO

ABSTRACT: Mathematical modeling in the different areas of knowledge has gained relevance, favored by the increase in software available for its implementation. Statistical modeling has also benefited from the increase in free software such as the statistical package R. The objective of this work is statistical modeling using the ordinal logistic regression methodology through the

different commands of the statistical package R. This methodology to the tourist activity in Acapulco, Guerrero, to the satisfaction of the tourist in the lodging services and food and beverages. The database used comprises 465 clean records completely of missing data. The models selected for each of the services satisfy the assumption of the model, satisfy the statistical tests of individual and global significance of the model. For the selection of the models, the deviance criterion, the AIC and the goodness-of-fit test are used. Finally, the models selected as the adequate ones predict more than 85% of the observed values of the variables of interest.

KEYWORDS: Ordinal logistic regression, statistical package R, tourism in Acapulco

INTRODUCCIÓN

La modelación estadística cobra mayor relevancia en tiempos recientes en las distintas disciplinas como la medicina, la economía, las finanzas, la epidemiología, la ingeniería, entre otras. Los modelos estadísticos lineales comprenden la modelación de la variable de interés tanto cualitativa como cuantitativa. En este último caso, cuando la variable es dicotómica se utiliza la regresión logística, cuando la variable toma más de dos categorías se utiliza la regresión logística multinomial y cuando la variable es ordinal se modela mediante regresión logística ordinal. En el presente trabajo la metodología aplicada a una base de datos de la actividad turística en Acapulco, Guerrero es la regresión logística ordinal.

Un elemento que ha posibilitado que la modelación estadística amplíe su aplicabilidad es la existencia de software adecuado a cada metodología. En este punto se está avanzando en el software que está disponible para todo usuario, como es el paquete estadístico R, el cual utilizamos en este trabajo.

La actividad turística en México y de manera particular en el estado de Guerrero tiene un peso importante en las economías. En el caso del estado de Guerrero, su economía depende en más del 60% de la actividad en sus tres centros turísticos: Acapulco, Ixtapa-Zihuatanejo y Taxco. Dada la importancia de esta actividad durante distintas temporadas vacacionales las autoridades municipales de Acapulco levantaron encuestas para conocer el nivel de satisfacción de los visitantes al Puerto de Acapulco. En el trabajo se utiliza una encuesta con 465 registro limpios de datos faltantes, considerando la satisfacción del turista en dos servicios prestados: el servicio de hospedaje y el servicio de alimentos y bebidas.

DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

El objetivo del presente trabajo es construir un modelo que explique de la mejor manera la satisfacción del turista en los servicios recibido en su visita al Puerto de Acapulco. En general la modelación pretende obtener el mejor modelo que se ajuste a los datos, aquel que sea el más simple y que explique mejor el fenómeno en estudio. En las últimas décadas el crecimiento que ha tenido la computación así como el software estadístico ha posibilitado

mejorar el trabajo de modelación.

La metodología que se utiliza para la modelación es la regresión logística ordinal. La regresión lineal utiliza como variable de interés una variable cuantitativa. En el caso de una variable cualitativa, la regresión logística utiliza una variable de respuesta binaria y la regresión logística multinomial utiliza una variable con más de dos categorías. Cuando la variable de interés tiene más de dos categorías pero tiene un orden la metodología utilizada es la regresión logística ordinal. Esta metodología es la que se utiliza y describe en el presente trabajo.

La regresión logística ordinal (RLO), parte de considerar que la variable de interés Y asume k categorías y_1, y_2, \dots, y_k y se explica a través de p variables independientes: X_1, X_2, \dots, X_p . Existen en la literatura distintas propuestas de establecer la relación entre la variable de interés Y y las variables independientes como: modelo de la categoría adyacente, modelo de razón continua (Hosmer y Lemeshow, 2000), modelo de riesgo proporcional, el modelo de ventajas proporcionales (McCullagh y Nelder, 1990), entre otros. Este último se utiliza en el presente trabajo.

El modelo de regresión logística ordinal con función de enlace logit se define en (1).

$$\text{logit}\{P[Y \leq y_j | X]\} = \log \left\{ \frac{P[Y \leq y_j | X]}{P[Y > y_j | X]} \right\} = \alpha_j + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2, \dots, \beta_p X_p \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, k-1 \quad (1)$$

donde los parámetros del modelo son: $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{k-1}, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ (Agresti, 2002).

En este modelo se establecen $k-1$ ecuaciones, una para cada categoría y_j donde los coeficientes β_i de las variables independientes, se suponen, constantes. Esta es la diferencia con modelo de regresión logística multinomial, donde se establecen también las $k-1$ ecuaciones pero se permite que los coeficientes β_i de las variables independientes pueden tomar otros valores.

El modelo de regresión logística ordinal (1) es también llamado modelo de las razones proporcionales (McCullagh y Nelder, 1990), ya que las ventajas del evento $Y \leq y_i$ en $X = x_1$ son $\exp[\beta^t(x_1 - x_2)]$ -veces sobre las ventajas en $X=x_2$, esto es dado en (2)

$$\text{logit}\{P[Y \leq y_i | x_1]\} - \text{logit}\{P[Y \leq y_i | x_2]\} = \log \left\{ \frac{P[Y \leq y_i | x_1] / P[Y > y_i | x_1]}{P[Y \leq y_i | x_2] / P[Y > y_i | x_2]} \right\} = \beta^t(x_1 - x_2) \quad (2)$$

Como se observa el lado derecho en (2) es independiente de las categorías de la variable de respuesta.

Estimación de los parámetros

Para efectuar la estimación de los parámetros del modelo especificado en (1) mediante el método de máxima verosimilitud (Hosmer y Lemeshow, 2000), se define primero la probabilidad condicional para la categoría y_j en (3).

$$\phi_j(x) = P[Y = y_j | x] = \frac{e^{g(x)}}{1 + e^{g(x)}} \text{ para } j = 1, 2, \dots, k \quad (3)$$

donde $g(x) = \beta_0 + \beta_1 x_1, \dots, \beta_p x_p$

En la función $\phi_j(x)$ se integran todos los parámetros del modelo $\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)$ definido en (1) incluyendo los interceptos α_j . Se integra $\phi_j(x)$ en (1)

$$\log \left\{ \frac{P[Y \leq y_j | X]}{P[Y > y_j | X]} \right\} = \log \left[\frac{\phi_1(x) + \phi_2(x) + \dots + \phi_j(x)}{\phi_{j+1}(x) + \phi_{j+2}(x) + \dots + \phi_k(x)} \right] = \alpha_j + \beta^t x \text{ para } j = 1, 2, \dots, k - 1$$

Para la estimación de los parámetros se supone una muestra de tamaño n , con las observaciones (y_i, x_i) para $i=1, 2, \dots, n$, además, se define una variable de respuesta z $(k+1)$ dimensional fijando $z_j=1$ si $Y=y_j$ en otro caso $z_j=0$ para $j=1, 2, \dots, k$. Con estos elementos se establece la función de verosimilitud en (4).

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^n [\phi_1(x_i)^{z_{1i}} \times \phi_2(x_i)^{z_{2i}} \times \dots \times \phi_k(x_i)^{z_{ki}}] \quad (4)$$

Con lo cual se obtiene el logaritmo de la verosimilitud en (5).

$$L(\beta) = \sum_{i=1}^n [z_{1i} \log \phi_1(x_i) + z_{2i} \log \phi_2(x_i) + \dots + z_{ki} \log \phi_k(x_i)] \quad (5)$$

Para obtener los estimadores máximo-verosímiles de los parámetros del modelo, se procede de la forma usual derivando parcialmente (5) con respecto a cada uno de los parámetros formando $(k+p)$ ecuaciones igualadas a cero. La solución del sistema de ecuaciones será los valores de los estimadores $\hat{\beta}$.

Evaluación estadística de los modelos

Supuesto de las rectas paralelas

Para efectuar la prueba de las rectas paralelas, esto es, para verificar el supuesto del modelo se comparan los resultados del ajuste del modelo de regresión logística ordinal con el modelo de regresión logística multinomial. Esta es la prueba de la razón de verosimilitud, esto es,

$$G = -2(\text{LogVerosimilitud}(M1) - \text{LogVerosimilitud}(M2))$$

donde $M1$ es el modelo de regresión logística ordinal y $M2$ es el modelo de regresión logística multinomial. El estadístico G sigue una distribución Chi-cuadrada con los grados de libertad igual a la diferencia entre el número de parámetros estimados en $M2$ y $M1$. La hipótesis nula asegura que los modelos son iguales, es decir, que los coeficientes estimados de las variables independientes son iguales en los distintos modelos de las categorías, esta hipótesis se rechaza para un valor suficientemente grande de G .

Significancia de los coeficientes de las variables independientes.

Para llevar a cabo la prueba de hipótesis de la significancia de los coeficientes β_i , se utiliza el estadístico de Wald, dado en (6).

$$Z_{wala} = \frac{\hat{\beta}_i}{se(\hat{\beta}_i)} \text{ para } i = 1, 2, \dots, p \quad (6)$$

Donde $\hat{\beta}_i$ es el estimador del coeficiente de la variable X_i y $se(\hat{\beta}_i)$ su error estándar. El estadístico Z_{Wald} sigue una distribución normal estándar, bajo la hipótesis nula. Cuando se rechaza la hipótesis nula, se puede asegurar que la variable X_i tiene un efecto sobre las probabilidades de ocurrencia de las categorías de la variable de interés (Heredia et al. 2012).

Bondad de ajuste del modelo

Para efectuar la prueba de bondad de ajuste el paquete estadístico R proporciona el valor del estadístico denominado deviance residual. En la hipótesis nula se establece que el modelo es el adecuado, esto es, que los valores predichos bajo el modelo ajustado y los valores observados de la variable de interés son similares. Bajo la hipótesis nula la deviance residual se comporta asintóticamente como una Chi-cuadrada con los grados de libertad igual al número de casos menos el número de parámetros estimados. Se rechaza la hipótesis nula si la Chi-cuadrada calculada es mayor que la Chi-cuadrada teórica a un nivel de significancia α (Hosmer y Lemeshow, 2000; McCullagh y Nelder, 1990).

Selección de modelos

Criterio de AIC (Akaike Information Criterion) propuesto por Akaike (1973) para seleccionar modelos se define en términos de un criterio de información adecuado, esto es, un mecanismo que da a cada modelo candidato un puntaje.

Para un modelo M se define el AIC como

$$AIC(M) = -2 \log(\text{Máxima verosimilitud}) + 2 \dim(M)$$

Donde $\dim(M)$ es la dimensión del vector de parámetros asociado al modelo M. Por lo cual, los modelos más complejos reciben penalizaciones más altas.

Como criterio de selección de modelos, de la lista de posibles modelos-candidatos se selecciona aquel modelo con menor AIC.

RESULTADOS

Descripción de la muestra

La muestra fue levantada en las vacaciones de fin de año 2015, fueron logradas 700 entrevistas pero debido a la no respuesta se redujo a 465 entrevistas completas. Este es el tamaño de muestra que se considera.

El software que se utilizó en los cálculos de la modelación es el paquete estadístico R. Este es un software libre que se está utilizando cada vez más en la Estadística, en el presente trabajo, para realizar los cálculos se requirió de además de las instrucciones básicas, los paquete denominados “MASS” y “nnet”, el primero para realizar el ajuste del modelo de regresión logística ordinal y el segundo para ajustar a los mismos datos un modelo multinomial. Esto último se utilizó para verificar el supuesto del modelo.

La modelación que vamos a realizar es sobre los servicios que se ofrecen a los turistas en hospedaje y en alimentos y bebidas.

Servicios de hospedaje.

Para el servicios de hospedaje la variables de interés es la respuesta a la pregunta: *¿Cómo califica usted la experiencia general con el establecimiento de hospedaje?* (STPI211) y las posibles respuestas de los turistas son: Excelente, Bueno, Malo y Muy malo, cuyas frecuencias observadas en la muestra fueron de 102, 334, 27 y 2, respectivamente. Las variables independientes que se consideran son

- 1.- *¿Cómo califica usted el servicio ofrecido por el personal del establecimiento de hospedaje?* (STPI212).
- 2.- *¿Cómo califica usted la relación calidad/precio del establecimiento de hospedaje?* (STPI213)
- 3.- *¿Cómo califica usted la variedad de la oferta de hospedaje?* (STPI214)
- 4.- *¿Cómo califica usted la información obtenida del establecimiento de hospedaje?* (STPI215)

Una primera etapa en la modelación, es la verificación de que existe una relación entre la variable de respuesta y las variables independientes, esto se realiza con la prueba de independencia. Esta prueba se efectúa mediante la construcción de una tabla de contingencia y se calcula el estadístico Chi-cuadrada, esto se realizó con el comando de R:

```
Indep1 <- chisq.test(Var211, Var212).
```

Para la variable dependiente (STPI211) y las variables independientes STPI212, STPI213, STPI214 y STPI215. Los valores de la Chi-cuadrada dados por las pruebas fueron: 809.49, 392.811, 327.57 y 321.54, respectivamente. Con estos valores se rechaza ampliamente la hipótesis de independencia a favor de la dependencia, ya que el valor teórico de la Chi-cuadrada con un nivel de significancia de 0.05 y 9 grados de libertad es 16.91898.

Estimación de los parámetros de los modelos especificados.

Para seleccionar el modelo adecuado a la variable de interés, se ajustaron cuatro modelos. El primer modelo ajustado es la variable dependiente (STPI211) contra la variable independiente STPI212, utilizando la siguiente instrucción de R:

```
modelo1 <- polr(Var211 ~ Var212, method="logistic")
```

El modelo 2, corresponde a este modelo más la variable independiente STPI213; el siguiente modelo M3 se agrega la variable independiente STPI214 y el último, es el modelo M3 más la variable STPI215. De esta forma se tienen los cuatro modelos reportados en la Tabla 1, con sus correspondientes estadísticos.

Modelo	Bondad ajuste Deviance (p-valor)	AIC	Pronósticos (%)
M1: STPI211 ~ STPI212	419.761 (0.9160158)	427.761	85.5913
M2: STPI211 ~ STPI212 + STPI213	365.1964 (0.9995932)	375.1964	86.6666
M3: STPI211 ~ STPI212 + STPI213 + STPI214	330.9514 (0.9999989)	342.9514	86.0215
M4: STPI211 ~ STPI212 + Var213 + STPI214 + STPI215	328.0693 (0.9999999)	342.0693	86.4516

Tabla 1. Modelos ajustados y sus correspondientes estadísticos.

En los cuatro modelos ajustados resultaron significativos los coeficientes de las variables independientes excepto en el último modelo, la variable independiente STPI215 tiene un p-valor de 0.09039, el cual es mayor a 0.05.

Por otro lado, la prueba de bondad de ajuste que se realiza con el estadístico deviance residual y su p-valor que son reportan en la segunda columna de la Tabla 1. Considerando estos valores de las pruebas estadísticas se puede asegurar que los modelos ajustados son los adecuados ya que sus correspondientes p-valores son mayores a 0.05.

Selección de modelos

Para seleccionar el modelo más adecuado que explica el comportamiento de los datos, se consideran los elementos antes mencionado, el estadístico AIC y su capacidad de predicción.

El modelo número cuatro considerando el estadístico AIC, sería el mejor ya que su valor es el menor de los cuatro modelos de la Tabla 1, sin embargo, tiene un coeficiente que no es estadísticamente significativo y en consecuencia, un parámetro más que el modelo tres. Aun cuando el modelo M4 el porcentaje de valores predichos ligeramente superior que el modelo tres, se selecciona el modelo tres como el más adecuado. Por tanto los parámetros estimados del modelo seleccionado son:

$$\log \left[\frac{P(Y \leq y_i | X)}{P(Y > y_i | X)} \right] = \alpha_i - 2.804(STPI212) - 1.553(STPI213) - 1.784(STPI214); \quad i = 1, 2, 3.$$

Los valores ajustados de los intercepto son: $\alpha_1=8.2309$, $\alpha_2=14.3982$ y $\alpha_3=21.2788$

Prueba de las rectas paralelas

Como se menciona arriba, la prueba se realiza comparando el modelo tres que se seleccionó con el modelo de regresión logística multinomial. Este último modelo considera para cada categoría de la variable dependiente las tres variables independientes, para realizar el ajuste, esto es, prácticamente ajusta tres modelos, como el siguiente:

$$STPI211 \sim \alpha_i + \beta_{1i}STPI212 + \beta_{2i}STPI213 + \beta_{3i}STPI214 \quad \text{para } i = 1, 2, 3$$

Los resultados del ajuste realizado en R se proporcionan en la Tabla 2.

Categoría	Intercepto	STPI212	STPI213	STPI214
1	-23.97663	20.81906	4.013394	-4.4355889
Error Estándar	4.143403	1.638050	4.083768	4.404914
2	-35.64502	22.18864	6.093980	-2.6667798
Error Estándar	4.230329	1.543282	4.066799	4.424951
3	-57.14251	25.38718	7.399188	-0.9882062
Error Estándar	4.499920	1.541837	4.063944	4.444243

Tabla 2. Parámetros estimados y sus correspondientes errores estándar del modelo multinomial especificado arriba.

Para efectuar la prueba se calcula el estadístico mediante comandos de R

$$G = -2\{\log\text{Verosimilitud}(\text{modelo3}) - \log\text{Verosimilitud}(\text{modelo multinomial})\}$$

Dando un valor de $G=9.452622$. El valor teórico de $X^2_{(0.95,6)}=12.59159$, por lo cual no hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis de que los modelos comparados sean distintos, esto es, que los coeficientes estimados en el modelo de regresión logística ordinal sean distintos para los interceptos.

Interpretación del modelo seleccionado.

Según el modelo seleccionado, la que tiene mayor impacto sobre las categorías de la variable dependiente es la variable STPI212, que corresponde al servicio ofrecido por el personal del establecimiento y le sigue en importancia la variable STPI214 que corresponde a la variedad de la oferta de hospedaje.

Servicio de alimentación y bebidas.

Para el caso de la modelación del servicio de alimentación y bebidas se consideran siete variables de las cuales la pregunta: *De acuerdo a su experiencia personal, ¿Cómo califica usted los servicios recibidos en el establecimiento de alimentos y bebidas?*, cuyas respuestas es la variable de interés. Las posibles respuestas son: Excelente, Bueno, Malo y Muy malo, las frecuencias en la base de datos es: 83, 348, 32 y 2, respectivamente. Las variables independientes se muestran en la Tabla 3.

En un primer análisis previo a la modelación, verificar que las variables independientes que se consideran tengan influencia sobre la variable de interés. Para tal efecto se realiza la prueba de independencia. El valor del estadístico de prueba para las seis distintas pruebas se proporcionan en la última columna de la Tabla 3, el valor teórico de la Chi-cuadrada con una significancia del $\alpha=0.05$, es de 16.91898, con nueve grados de libertad, por tanto, en todos los casos se rechaza la hipótesis de independencia a favor de la existencia de dependencia de la variable de interés con respecto a cada una de las variables independientes.

Variables	Descripción	Estadístico χ^2_c
STPI221	La experiencia en general con los establecimientos de alimentos y bebidas	
STPI222	La limpieza de los establecimientos de alimentos y bebidas.	407.5309
STPI223	La higiene de alimentos y bebidas.	374.1248
STPI224	El servicio ofrecido por el personal de los establecimientos de alimentos y bebidas.	783.2926
STPI225	La relación calidad/precio de los establecimientos de alimentos y bebidas.	403.3616
STPI226	La variedad de establecimientos de alimentos y bebidas.	416.1002
STPI227	La información sobre los establecimientos de alimentos y bebidas.	230.7897

Tabla 3. Descripción de las variables explicativas para la modelación del servicio de alimentos y bebidas y el estadístico para la prueba de independencia.

Estimación de los parámetros de los modelos.

En esta etapa de la modelación, se estiman los parámetros de los distintos modelos propuestos. Para efectuar los cálculos se utiliza los comandos del paquete estadístico R. Se ensayan distintos modelos para determinar el que mejor explique el comportamiento de los datos. En la Tabla 4 primera columna, se reportan las variables independientes de los cinco principales modelos ajustados. Además, se reporta los estadísticos de los modelos ajustados como Deviance residual y su p-valor para la bondad de ajuste, el AIC, el porcentaje de pronósticos que coinciden con los valores observados y el p-valor de la prueba de las rectas paralelas.

Modelo (Variables independientes)	Bondad de ajuste. Deviance (p-valor)	AIC	Pronósticos (%)	Prueba de las rectas paralelas. p-valor
M1: ~ STPI222+ STPI223+ STPI224+ STPI225+ STPI226+ STPI227	354.7458 (0.9998)	372.745	86.23	0.00131
M2: ~ STPI222 + STPI224+ STPI225+ STPI227	357.5974 (0.9998)	371.597	85.59	0.0006
M3: ~ STPI223 + STPI224 + STPI225	406.4535 (0.9627)	418.453	85.16	0.1441
M4: ~ STPI222 + STPI224 + STPI225	372.4561 (0.9988)	384.456	85.59	0.0019
M5: ~ STPI222 + STPI224 +STPI226	372.118 (0.9988)	384.118	86.23	0.0012

Tabla 4. Modelos ajustados para la variable dependiente *De acuerdo a su experiencia personal, ¿Cómo califica usted los servicios recibidos en el establecimiento de alimentos y bebidas?*(STPI221) y algunos de sus estadísticos.

Evaluación estadística de los modelos

La significancia estadística de los coeficientes de las variables independientes se realiza con estadístico de Wald. De los modelos reportados en la Tabla 4, el único modelo que tiene coeficientes estadísticamente igual a cero es el primero M1. Las variables independientes cuyos coeficientes tiene este problema son STPI223 y STPI226 con el p-valor de 0.8269 y 0.09287, respectivamente.

En la segunda columna se reporta el valor del estadístico Deviance y su p-valor para efectos de la prueba de bondad de ajuste. En esta prueba en la hipótesis H_0 se establece que el modelo es el adecuado, por lo que el p-valor debe ser mayor a 0.05 para no rechazar la hipótesis nula. Como se observa en los cinco modelos el p-valor es muy superior a 0.05. Por lo que los modelos son los adecuados.

Selección del modelos adecuado

En la Tabla 4, se reportan algunos de los modelos ajustados con sus respectivos estadísticos para realizar la selección del modelo adecuado a los datos. Si el criterio de selección fuera únicamente el AIC, se tendría que seleccionar el modelo M2 además, este modelo tiene el mayor p-valor de la prueba de bondad de ajuste. En cuanto al mejor porcentaje de coincidencia entre los valores pronosticados por el modelo y los valores observados, son los modelos M1 y M5 los que alcanzan los mayores valores. En la última columna de la Tabla 4, se proporciona el p-valor de la prueba de las rectas paralelas y se observa que el único modelo que satisface que este valor sea mayor a 0.05 es el modelo M3.

Ante el análisis planteado de los modelos ajustados, se tienen básicamente dos opciones seleccionar el modelo M1 que es el mejor considerando dos de los cuatro criterios (bondad de ajuste y mejor pronósticos) pero tiene el inconveniente de no satisfacer el supuesto de las rectas paralelas y tener el mayor número de variables independientes. La otra opción es seleccionar el modelo M3 que es el único que satisface el supuesto del modelo y por considerar solamente tres variables independientes. Ante esta situación, se opta por el modelo M3 por satisfacer el supuesto del modelo y contener el menor número de variables independientes aunque, no sea el mejor en los demás criterios.

Los parámetros ajustados del modelo seleccionado se proporcionan en la siguiente expresión.

$$\log \left[\frac{P(Y \leq y_j | X)}{P(Y > y_j | X)} \right] = \alpha_j - 1.680(STPI223) - 1.776(STPI224) - 1.402(STPI225); \text{ con } j = 1, 2, 3.$$

Los valores ajustados de los interceptos son: $\alpha_1=6.4256$, $\alpha_2=10.8653$ y $\alpha_3=17.1230$.

Los valores del estadístico Wald, para la significancia de los coeficientes fueron: -5.460, -5.682 y -4.757 para STPI223, STPI224 y STPI225, respectivamente. Con estos valores del estadístico se comprueba la significancia de los coeficientes de las variables independientes.

Pronósticos con el modelo seleccionado.

Nuevamente utilizando instrucciones de R, se calcula los valores pronosticados con el modelo seleccionado. En la Tabla 5 se proporcionan tanto los valores pronosticados como los valores observados para cada una de las categorías de la variable de interés.

Observados/Predichos	1	2	3	4	Totales
1	1	1	0	0	2
2	0	12	19	1	32
3	0	2	332	14	348
4	0	0	32	51	83
Totales	1	15	383	66	365

Tabla 5. Pronósticos con el modelo seleccionado, según categoría.

Análisis con el modelo seleccionado

Según el modelo seleccionado, la variable que tiene mayor impacto sobre la variable de interés es STPI224 que corresponde al servicio ofrecido por el personal de los establecimientos de alimentos y bebidas; la siguiente variable es STPI223 que corresponde a la higiene de alimentos y bebidas y la última es STPI225 que corresponde a la relación calidad/precio de los establecimientos de alimentos y bebidas. Estas son las tres variables que influyen de manera determinante sobre la percepción de la calidad del servicio de alimentos y bebidas.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Los modelos de regresión logística ordinal ajustados a los datos de satisfacción del turista resultan satisfactorios. En primer lugar, se satisface el supuesto del modelo de la recta paralelas y su evaluación estadística es buena. En segundo lugar, mediante los modelos se han podido identificar aquellas variables que afectan directamente la satisfacción del turista, como es el caso de la modelación del servicio de alimentos y bebidas, donde se identifican estas variables como el servicio ofrecido por el personal, la higiene y la relación calidad/precio.

Perspectivas. Para trabajos posteriores se requiere de un mayor análisis del modelo en función de los datos, esto es, dado el modelo seleccionado cuantificar el impacto sobre la variable de interés de las distintas variables independientes.

REFERENCIAS

1. Agresti, A. "Categorical Data Analysis", USA, John Wiley & Sons, 2002.

2. Akaike, H. (1973). Information theory and extension of the maximum likelihood principle. In Petrov, B. and Csáki, F. (editors), *Second International Symposium on Information Theory*, page 267-281. Akadémiai Kiadó, Budapest.
3. Heredia J., Rodríguez A., Vilalta J. “Empleo de la regresión logística ordinal para la predicción del rendimiento académico”. *Revista Investigación Operacional*, Vol. 33, No. 3, 252-267, 2012.
4. Hosmer D., Lemeshow S. “Applied Logistic Regression”, USA, John Wiley & Sons, 2000.
5. Mc Cullagh, P. and Nelder, J.A. “Generalized Linear Models”, 2nd. ed. Chapman and Hall, 1989.
6. R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
7. Secretaria de Turismo, H. Ayuntamiento de Acapulco. “Encuesta sobre el grado de satisfacción del turista y derrama económica”, 2015.

NTFS: ELUCIDAÇÕES INTRODUTÓRIAS DE SISTEMA DE ARQUIVOS

Data de aceite: 02/05/2023

José Gleisson da Costa Germano

Doutorando em Ensino, com ênfase em Ensino de Ciências, Matemática e Engenharias – Programa de Doutorado Acadêmico em Ensino, RENOEN, Instituto Federal do Ceará – IFCE, Campus Fortaleza

José Wally Mendonça Menezes

Professor Orientador – Programa de Doutorado Acadêmico em Ensino, RENOEN, com ênfase em Ensino de Ciências, Matemática e Engenharias – Instituto Federal do Ceará – IFCE, Campus Fortaleza

RESUMO: O presente trabalho tem o objetivo de propiciar determinadas elucidações introdutórias concernentes a sistema de arquivos. É parte de uma pesquisa qualitativa em andamento na qual é efetuada uma apresentação de um conceito geral de sistema de arquivos, onde abordamos as funções e/ou os papéis principais que desempenha um sistema de arquivos. Ademais, o trabalho externa uma abordagem sobre a estrutura e implementação de diretórios, sobre método de alocação, gerenciamento de espaço livre,

eficiência e desempenho e traz esclarecimentos a respeito de recuperação e informações armazenadas no FCB.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema NTFS; Sistema de arquivos; Elucidações introdutórias.

1 | INTRODUÇÃO

O presente trabalho vem à tona no sentido de propiciar determinadas elucidações concernentes a sistema de arquivos. Está dividido em dois tópicos, 1 e 2. O tópico 1, como é perceptível, traz uma introdução acerca do trabalho. No item 1.1 tem-se uma apresentação de um conceito geral de sistema de arquivos; já o item 1.2 aborda as funções e/ou os papéis principais que desempenha um sistema de arquivos. No tópico 2, é realizada uma abordagem sobre a estrutura, implementação e implementação de diretórios (no item 2.1), sobre método de alocação, gerenciamento de espaço livre, eficiência e desempenho e traz esclarecimentos a respeito de recuperação e informações armazenadas no FCB (no item 2.2).

1.1 Conceito geral sobre sistema de arquivos

O sistema de arquivos pode ser identificado como a parte, por assim dizer, mais visível do Sistema Operacional (SILBERSCHATZ; GALVIN; GAGNE, 2004). Ou seja, normalmente quando um usuário está diante de um computador, lhe é apresentado um ou mais arquivos, ou ainda o usuário faz essa busca, visando o acesso a um arquivo ou mais arquivos (TANENBAUM; BOS, 2016). Desse modo, é notória a importância do sistema de arquivos, uma vez que ele fornecerá interface, suportes, subsídios para acessar os arquivos. Mas, o que é um arquivo? “Um arquivo é uma coleção de informações correlatas que recebe um nome e é gravado no armazenamento secundário” (SILBERSCHATZ; GALVIN; GAGNE, 2004, p. 244).

De acordo com Tanenbaum e Bos (2016):

Arquivos são gerenciados pelo sistema operacional. Como são estruturados, nomeados, acessados, usados, protegidos, implementados e gerenciados são tópicos importantes no projeto de um sistema operacional. Como um todo, aquela parte do sistema operacional lidando com arquivos é conhecida como **sistema de arquivos** (TANENBAUM; BOS, 2016, p. 182).

Assim, podemos dizer que o sistema de arquivos é o módulo do Sistema Operacional que está relacionada ao armazenamento de modo persistente (quer dizer, a informação gerada por um processo deve continuar após a finalização desse processo) de informações no disco de armazenamento, isto é, o sistema operacional gerencia os arquivos pelo sistema de arquivos, que se constitui de estruturas lógicas e de rotinas que possibilitam ao sistema operacional o gerenciamento de acesso ao disco rígido. É importante ressaltar, então, que distintos sistemas operacionais podem ter distintos sistemas de arquivos, com diversas peculiaridades. Por conseguinte, é necessário haver compatibilidade entre o sistema operacional e o sistema de arquivos.

1.2 Funções/papéis principais que desempenha um sistema de arquivos

No item anterior, é possível perceber, grosso modo, o escopo de atuação do sistema de arquivos e, assim, tem-se o âmbito de suas funções e/ou principais papéis que desempenha. Ademais, o sistema de arquivos tem a função de definir como os bytes que fazem parte da composição de arquivos estarão sendo armazenados no disco e denota o modo de acessibilidade do sistema operacional aos dados em questão, com papel de gerenciamento dos arquivos, acesso, leitura, gravação, armazenamento e uso de modo geral dos arquivos pelo sistema operacional.

2 | O SISTEMA DE ARQUIVOS NTFS

O sistema de arquivos NTFS (New Technology File System - Nova Tecnologia de Sistema de Arquivos) surgiu no sentido de se ter um sistema de arquivos mais eficiente, em relação a outros sistemas de arquivos, como, por exemplo, o FAT 16 e o FAT 32, dada

a evolução dos sistemas operacionais, como, no caso da Microsoft, a partir do Windows NT (New Technology), referente aos sistemas operacionais do Windows, bem como com o Windows 2000 em diante, utilizando o NTFS, considerado um dos mais importantes sistemas de arquivos existentes.

Como exemplificação de distinção com outro sistema de arquivos, diferentemente do MS – DOS, no NTFS tem-se uma efetiva diferenciação de letras minúsculas e maiúsculas. Assim, em relação a nomes de arquivos, com o NTFS, *josafá* não é igual a *Josefá*. Ademais, o NTFS usa endereços de disco de 64 bits, podendo suportar, teoricamente, 2^{64} bytes de partições de disco, isto é, bem mais amplo que o FAT-16 e o FAT -32.

2.1 Estrutura, implementação e implementação de diretórios

No sistema de arquivos NTFS, um arquivo não é tão somente uma sequência linear de bytes, como ocorre nos sistemas de arquivos FAT – 32, por exemplo. No NTFS, arquivos são considerados como diversos atributos, cada um tipificado por um fluxo de bytes. Outro ponto ser ressaltado, é que o sistema de arquivo NTFS é hierárquico.

Todos os volumes do sistema de arquivos NTFS possuem arquivos, diretórios, mapas de bits e outras estruturas de dados. Conforme Tanenbaum e Bos (2016), “cada volume é organizado como uma sequência linear de blocos (‘clusters’, na terminologia da Microsoft), com tamanho do bloco determinado para cada volume e variando de 512 bytes a 64 KB, dependendo do tamanho do volume” (TANENBAUM; BOS, 2016, p. 663).

Ainda segundo tais autores, grande parte dos discos NTFS usa blocos de 4 KB, servindo de ponto de equilíbrio entre blocos considerados grandes, no que tange a transferências eficientes e blocos tidos como pequenos, no sentido de obter uma reduzida fragmentação interna (TANENBAUM; BOS, 2016).

A estrutura de dados mais importante de cada volume é a chamada Master File Table – MFT (Tabela Mestre de Arquivos), que consiste numa sequência linear e registros com tamanho fixo de 1 KB, onde cada arquivo é descrito por apenas um registro da MFT. Ressalte-se que a MFT é também um arquivo, onde o arquivo pode crescer conforme a necessidade, até o limite de 2^{48} registros (TANENBAUM; BOS, 2016).

Observe a MFT exibida na figura a seguir.

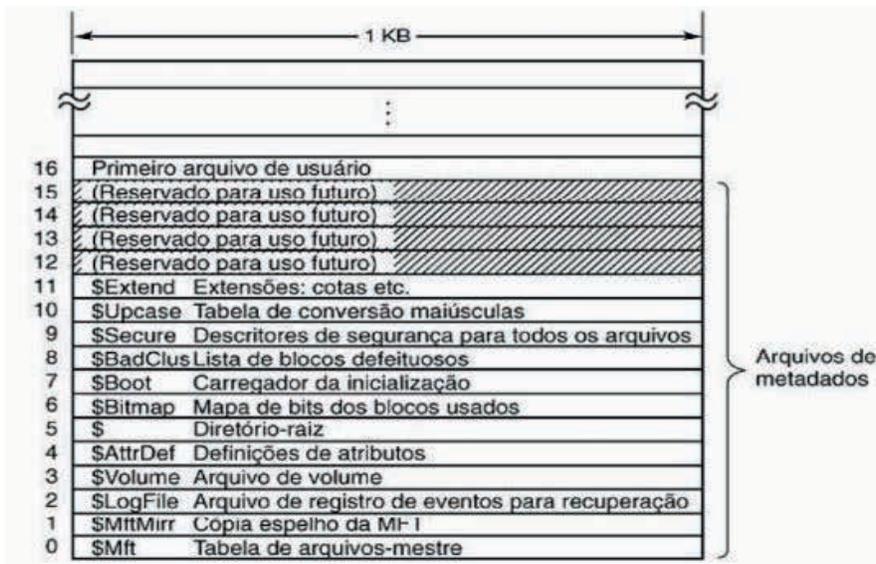


Figura 1: Tabela de arquivos do NTFS
 Fonte: (TANENBAUM; BOS, 2016, p. 663).

Perceba que cada registro da Tabela de arquivos mestre do NTFS compõe uma sequência de pares: cabeçalho do atributo e valor, indicando qual é o atributo e o tamanho do valor.

Observe na figura abaixo os atributos usados nos registros da MFT.

Atributo	Descrição
Informação-padrão	Bits de sinais, estampas de tempo etc.
Nome do arquivo	Nome do arquivo em Unicode; pode ser repetido para nome MS-DOS
Descritor de segurança	Obsoleto. A informação de segurança agora fica em \$Extend\$Secure
Lista de atributos	Localização dos registros adicionais da MFT, se necessário
ID do objeto	Identificador de arquivos de 64 bits, único para este volume
Ponto de reanálise	Usado para montagens e ligações simbólicas
Nome do volume	Nome deste volume (usado somente em \$Volume)
Informação sobre o volume	Versão do volume (usado somente em \$Volume)
Índice-raiz	Usado para diretórios
Índice de alocação	Usado para diretórios muito grandes
Mapa de bits	Usado para diretórios muito grandes
Fluxo com utilidade de registro	Controla registro de eventos no \$LogFile
Dados	Fluxo de dados; pode ser repetido

Figura 2 – Os atributos usados nos registros da MFT.
 Fonte: (TANENBAUM; BOS, 2016, p. 665).

Os 13 (treze) atributos definidos no NTFS podem aparecer nos registros da MFT, conforme visualizados na tabela acima. Quando um atributo é inserido em um bloco de disco de forma separada, ele é conhecido como atributo não residente, como é o caso do atributo de dados.

Os atributos não residentes são maiores que os atributos residentes que possuem 24 bytes, uma vez que os não residentes “contém informação sobre onde encontrar o atributo no disco” (TANENBAUM; BOS, 2016, p. 664). Ressalte-se que o nome do arquivo, no NTFS, é um campo em Unicode e de tamanho que pode variar.

2.2 Método de alocação, gerenciamento de espaço livre, eficiência e desempenho e informações armazenadas no FCB

Visando a questão de eficiência, o rastreamento dos blocos de disco se dá, na medida do possível, na atribuição em série de blocos consecutivos. O FCB (File Control Block) refere-se a um bloco de controle de arquivo, que é uma estrutura contendo os metadados do arquivo e a localização do seu conteúdo no disco. No caso do NTFS, os blocos de controle de arquivos são definidas em estruturas separadas como a MFT (Master File Table), conforme apresentada no item anterior (TANENBAUM; BOS, 2016).

Observe as figuras a seguir.

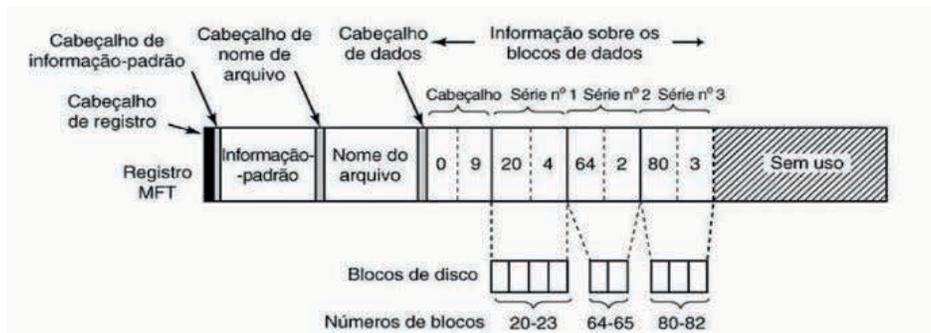


Figura 3 – Um registro da MFT para um arquivo de três séries e nove blocos.

Fonte: (TANENBAUM; BOS, 2016, p. 666).

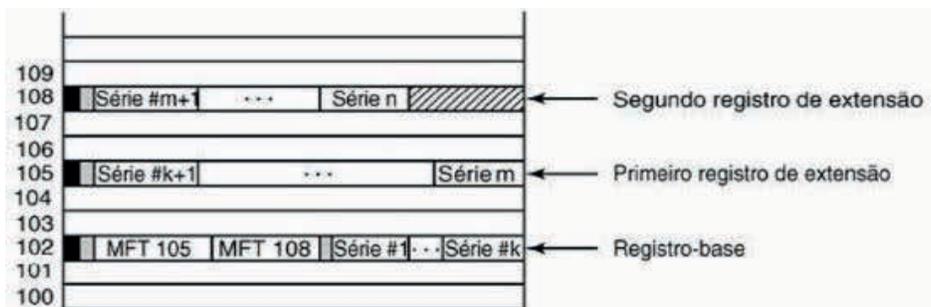


Figura 4 – Um registro que requer três registros MFT para armazenar todas as suas séries.

Fonte: (TANENBAUM; BOS, 2016, p. 667).



Figura 5 – O registro da MFT para um pequeno diretório.

Fonte: (TANENBAUM; BOS, 2016, p. 667).

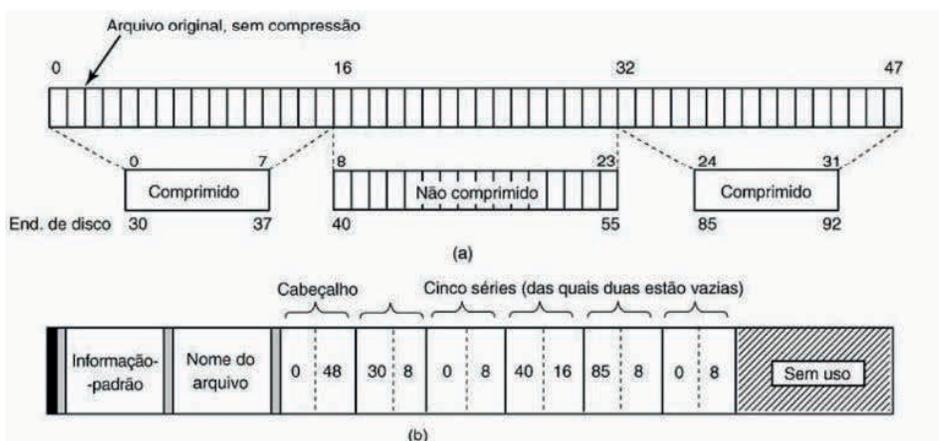


Figura 6 – (a) Um exemplo de registro com 48 blocos sendo compactado para 32 blocos. (b) O registro da MFT para o arquivo depois da compactação.

Fonte: (TANENBAUM; BOS, 2016, p. 669).

3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a Microsoft (2022), NTFS usa suas informações de arquivo e o ponto de verificação de log para restaurar a consistência do sistema de arquivos quando o computador é reiniciado após uma falha do sistema. Depois de um erro de setor defeituoso, o NTFS remapeia dinamicamente o cluster que contém o setor defeituoso, aloca um novo cluster para os dados, marca no cluster original como defeituoso e não usa o cluster antigo. Por exemplo, após um travamento de servidor, NTFS pode recuperar dados repetindo seus arquivos de log (MICROSOFT, 2022).

REFERÊNCIAS

BERNAL, Volnys Borges. **Sistema de Arquivos**. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3477103/mod_resource/content/1/202-SistemaArquivos.pdf>. Acesso em 07/04/2022.

MICROSOFT. **Visão Geral do NTFS**. Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/pt-br/windows-server/storage/file-server/ntfs-overview>>. Acesso em 07/04/2022.

MONQUEIRO, Júlio César Bessa. NTFS: um sistema de arquivos com integridade e complexidade. Disponível em: <<https://www.hardware.com.br/artigos/ntfs/>>. Acesso em 07/04/2022.

SILBERSCHATZ, Abraham; GALVIN, Peter Baer; GAGNE, Greg. **Sistemas Operacionais: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

TANENBAUM, Andrew S.; BOS, Herbert. **Sistemas operacionais modernos**. 4.ed. – São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

O MÉTODO PROMÉTHÉE NO APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO

Data de submissão: 12/04/2023

Data de aceite: 02/05/2023

Marcos Vinicius Passarini de Almeida

Universidade Federal Fluminense
Niterói – Rio de Janeiro
<http://orcid.org/0000-0001-7000-155X>

Luis Alberto Duncan Rangel

Universidade Federal Fluminense
Niterói – Rio de Janeiro
<http://orcid.org/0000-0003-1431-9859>

RESUMO: O processo de tomada de decisão está presente no dia a dia das organizações. A pesquisa operacional, como ramo da ciência da decisão, fornece diversas ferramentas capazes de apoiar gestores em processos decisórios. Os métodos de apoio multicritério à decisão apresentam crescente utilização ao longo dos anos, sendo aplicados em diversas áreas de conhecimento como Engenharia, Ciências da Computação, Economia, entre outras. Esta pesquisa realizou um levantamento bibliométrico dos periódicos que tratam do tema de apoio multicritério à decisão, especificamente aqueles que abordam a utilização do método Prométhée. Adicionalmente, este trabalho analisou a evolução da utilização do referido método ao longo dos anos, identificando seus padrões

de autoria e de publicação científica. Foram observados, entre outros achados, os seguintes padrões: China e Turquia foram os países que mais publicaram sobre o tema, os autores mais citados são Kokot e Smet e as publicações aderentes à pesquisa, em sua maioria, utilizaram citações dos últimos dez anos. Além disso, os resultados ainda indicaram a presença de trabalhos nacionais relevantes nas bases pesquisadas, nas quais o Brasil figura como o quinto maior produtor de publicações, detendo o terceiro e o quarto autores mais prolíficos no período analisado.

PALAVRAS-CHAVE: Apoio multicritério à decisão; Bibliometria; Prométhée.

THE PROMÉTHÉE METHOD IN MULTICRITERIA DECISION-MAKING: A BIBLIOMETRIC STUDY

ABSTRACT: The decision-making process is present in the daily lives of organizations. Operational Research, as a branch of decision science, provides several tools capable of supporting managers in decision-making processes. Multicriteria decision-making methods have been increasingly used over the years, being applied in several areas of knowledge such as Engineering,

Computer Science, Economics, among others. This research carried out a bibliometric study of the periodicals regarding the theme of multicriteria decision support, specifically those that address the use of the Prométhée method. Additionally, this study analyzed the evolution of the use of this method over the years, identifying its standards of authorship and scientific publication. The following patterns were observed, among other findings: China and Turkey were the countries that published the most on the topic; the most cited authors are Kokot and Smet and the publications that adhere to the research, mostly used citations from the last ten years. In addition, the results also indicated the presence of relevant national works in the researched bases, in which Brazil ranks as the fifth largest producer of publications, with the third and fourth most prolific authors in the analyzed period.

KEYWORDS: Multicriteria Decision-making method; Bibliometry; Prométhée.

1 | INTRODUÇÃO

A necessidade de se tomar decisões está presente no dia a dia das pessoas e é executada muitas vezes de maneira trivial. Contudo, nem todas as decisões são simples e podem ser resolvidas intuitivamente, pois podem envolver grandes riscos, negociações, custos, entre outros fatores. Como exemplo, pode-se citar a realidade das organizações em que, diariamente, gestores são confrontados com a necessidade de tomada de decisões eficientes, complexas e estratégicas.

Para Santos *et al.* (2020) uma boa decisão deve ser capaz de atender aos objetivos propostos, respondendo às necessidades das partes envolvidas e levando-se em consideração os diversos critérios ligados ao contexto no qual o problema se encontra. Dessa forma, são de imensa valia o desenvolvimento e a utilização de metodologias que apoiem gestores na tomada de decisão, possibilitando a escolha eficiente de uma alternativa, considerando-se diferentes critérios e pontos de vista.

Os métodos multicritério de apoio à decisão (*Multiple Criteria Decision Method* – MCDM ou Apoio Multicritério à Decisão - AMD) assessoram decisores na escolha de uma alternativa, considerando suas preferências e, dessa forma, podem contribuir para a redução do subjetivismo, tendenciosidade e arbitrariedade da decisão (PAULA; MELLO, 2013).

Existem diversos métodos de AMD desenvolvidos para tratar as variadas características de um problema de decisão, sejam elas o tipo de problema, o tipo de critério a ser considerado ou as preferências do decisor. De acordo com Brans e Smet (2016), os métodos da família PROMÉTHÉE têm se destacado dos demais por serem de fácil compreensão pelo decisor, apresentando parâmetros técnicos de fácil compreensão e configuração para o usuário.

Neste contexto, os métodos da família PROMÉTHÉE podem auxiliar gestores em busca de apoio para a tomada de decisão em ambientes empresariais cada vez mais complexos e dinâmicos. O conhecimento da literatura acerca deste método ganha importância, portanto, para direcionar gestores a respeito das melhores práticas na

utilização deste método e também nivelar pesquisadores para trabalhos futuros sobre o tema.

Levando-se em consideração a conjuntura apresentada, surge a questão motivadora para a realização desta pesquisa: Como se apresenta, nos últimos anos, a produção científica acerca da utilização do método PROMÉTHÉE?

O objetivo deste estudo é analisar a produção científica sobre a utilização do método PROMÉTHÉE em processos decisórios multicritério, por meio de uma análise bibliométrica de artigos publicados nos últimos anos.

Para atingir o objetivo geral, este estudo teve como delineadores os seguintes objetivos específicos: a) Identificar as principais áreas de aplicação; b) Levantar o número de artigos publicados por ano; c) Verificar os países que mais publicaram; d) Listar os autores com maior número de publicações; e) Detectar os principais meios de publicação e f) Enumerar a quantidade de citações por ano.

Este artigo é dividido em cinco capítulos. Após a introdução, o capítulo 2 realiza um apanhado bibliográfico sobre o tema de AMD e o método PROMÉTHÉE. No capítulo 3, são realizados o enquadramento metodológico da pesquisa e a descrição das etapas executadas para o alcance dos objetivos. No capítulo 4, são apresentados os resultados da pesquisa. Por fim, no capítulo 5, são apresentadas as considerações finais e sugestões de estudos futuros.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Apoio multicritério à decisão e o método PROMÉTHÉE

De acordo com Vincke (1992), um problema multicritério é a situação em que existem um conjunto de ações A e uma família de critérios F, na qual o decisor necessita: definir um subconjunto de ações as quais considera as melhores de A (problemática de escolha); designar as ações a diferentes categorias previamente definidas com base em um grupo de regras definidas para o conjunto A (problemática de classificação); ordenar as alternativas de A da melhor para a pior (problemática de ordenação). Roy (1996) acrescenta, ainda, a situação em que a decisão a ser tomada é baseada na descrição das ações e suas consequências (problemática de descrição).

Os métodos AMD podem ser utilizados como direcionadores para definir, entre as opções existentes, a modelagem mais adequada para tratar o problema e, assim, definir a sua solução (AZEVEDO; FERREIRA; SILVA, 2018). Magalhães, Rangel e Silva (2017) descrevem o AMD como uma metodologia formal e cientificamente fundamentada, que busca uma decisão sólida baseada em uma explicação matemática e em uma avaliação conjunta de múltiplos aspectos do problema. Por meio de um conjunto de métodos e técnicas, estabelece uma relação de preferências entre diversos fatores intervenientes sob a influência da multiplicidade de critérios, auxiliando pessoas e organizações a tomarem

decisões.

De acordo com Roy (1996), os métodos AMD podem ser divididos em três categorias: métodos de critério único de síntese, em que um possível conjunto de critérios é agregado em um único critério de síntese; métodos de sobreclassificação, nos quais serão avaliadas relações de superação ou prevalência entre as alternativas e os métodos interativos, que se apoiam em ferramentas computacionais.

A escola francesa de AMD foi responsável pela criação dos métodos de sobreclassificação, que têm como principal característica realizar a avaliação par a par das alternativas, objetivando identificar uma relação de sobreclassificação das mesmas (ARAÚJO; AMARAL, 2015). Dentre os principais métodos da escola francesa, destacam-se o ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*) e o PROMÉTHÉE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) (ROY, 1996).

O método PROMÉTHÉE tem destaque entre os métodos dedicados à sobreclassificação e tem se tornado uma das ferramentas mais utilizadas de AMD, sendo capaz de tratar problemas de ordenação, escolha, classificação e descrição. O motivo para sua grande popularidade se deve a sua facilidade de utilização e clareza para os decisores, além da sua estabilidade e capacidade matemática de processamento (BRANS; SMET, 2016).

Na aplicação do método PROMÉTHÉE, o decisor define pesos para cada critério existente, expressando, assim, seus níveis de importância e possibilitando avaliar o grau de sobreclassificação para cada alternativa (ALMEIDA *et al.*, 2015). De acordo com Sarrazin, Smet e Rosenfeld (2017), ao avaliar a sobreclassificação, o decisor consegue quantificar o desempenho de cada alternativa, comparando-as em um dado critério.

Segundo Almeida *et al.* (2015), o PROMÉTHÉE realiza uma classificação parcial das n alternativas utilizando fluxos de preferências, que são calculados com o objetivo de analisar como cada ação de A se comporta diante das $(n-1)$ demais alternativas. Os fluxos de preferências são calculados conforme as fórmulas abaixo (BRANS; SMET, 2016):

- a) Fluxo positivo de sobreclassificação: $\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x)$;
- b) Fluxo negativo de sobreclassificação: $\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a)$;
- c) Fluxo líquido de sobreclassificação: $\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$.

O fluxo positivo de sobreclassificação representa o quanto a alternativa a sobreclassifica as demais. Quanto maior $\phi^+(a)$, melhor é a alternativa. O fluxo negativo de sobreclassificação representa o quanto a alternativa a é sobreclassificada pelas demais. Quanto menor $\phi^-(a)$, melhor é a alternativa. O fluxo líquido de sobreclassificação representa o equilíbrio entre os fluxos positivo e negativo. Quanto maior o fluxo líquido, melhor será a alternativa. Desta forma, se $\phi(a) > 0$, a sobreclassifica todas as alternativas em todos os critérios e, quando $\phi(a) < 0$, a é mais sobreclassificada (BRANS; SMET, 2016).

3 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com o objetivo de descrever os procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa, esta seção abordará o enquadramento metodológico geral e os procedimentos de coleta e análise de dados.

Esta pesquisa é classificada como descritiva, devido ao detalhamento das características das publicações sobre a utilização do método PROMÉTHÉE. A estratégia de investigação utilizada foi a pesquisa bibliográfica. Quanto à abordagem, trata-se de uma pesquisa quantitativa, a qual converte as descrições das informações dos trabalhos avaliados em dados tratados estatisticamente.

A pesquisa foi concluída em setembro de 2020, tendo sido realizada em duas fases: em sua primeira fase foi realizada pesquisa bibliográfica em base de dados *online*, com o propósito de identificar artigos que fossem aderentes ao objeto da pesquisa. Para tal, primeiramente foram definidas as palavras-chave. Estas palavras foram divididas sob quatro eixos, cada um com sua palavra-chave principal em inglês e possíveis sinônimos: “*Multiple criteria*” (eixo 1), *Decision* (eixo 2), *Method* (eixo 3) e *Prométhée* (eixo 4).

Após a definição das palavras-chave de pesquisa e seus sinônimos, foi desenvolvido um algoritmo com os operadores booleanos “AND” e “OR” e as palavras contidas nos quatro eixos de pesquisa, conforme apresentado no quadro 1.

Eixo	Algoritmo de busca
1	(“Multiple Criteria” OR “Multi criteria” OR Multicriteria)
	AND
2	(Decision)
	AND
3	(Method OR Analysis OR Aiding OR Making OR System OR Support)
	AND
4	(Prométhée)

QUADRO 1 - Algoritmo utilizado na pesquisa. Fonte: Elaborado pelos autores.

O acesso à base de dados *Web of Science* com a utilização do algoritmo de pesquisa resultou em 981 registros, sem recorte temporal. É importante ressaltar que a base de dados *Web of Science* foi escolhida como ferramenta de pesquisa primária pois, em uma busca inicial, essa plataforma apresentou resultados mais aderentes do que outras bases de dados, tais quais o *Scopus* e o *Science Direct*.

Na segunda fase deste trabalho, foi realizada a análise bibliométrica dos artigos encontrados, baseado no método descrito por Quevedo-Silva *et al.* (2016), com o propósito de apurar quais informações ou padrões podem ser obtidos da base bibliográfica. Foram utilizados os seguintes softwares nessa etapa da pesquisa: *Excel* e *VOSviewer*. A figura 1

mostra o fluxo de pesquisa desenvolvido neste estudo, com seus respectivos insumos e produtos.

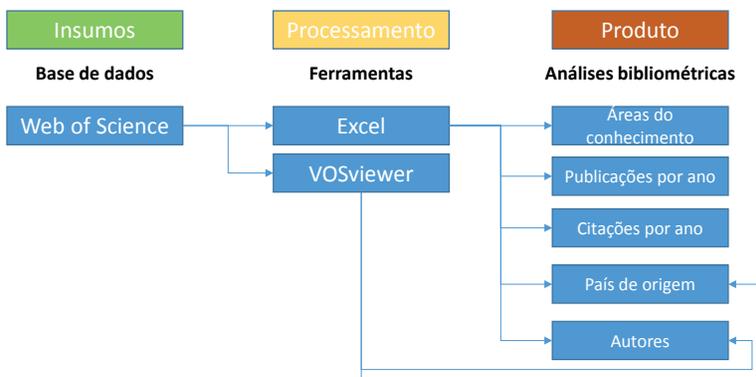


FIGURA 1 - Fluxo da pesquisa bibliométrica. Fonte: Elaborado pelos autores.

4 | APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A seguir, é apresentada a estatística descritiva referente aos artigos utilizados para análise nesta pesquisa.

4.1 Áreas de conhecimento

A figura 2 mostra a distribuição das publicações de acordo com as principais áreas de conhecimento. Foram consideradas as áreas de conhecimento com amostragem igual ou superior a 20 ocorrências.

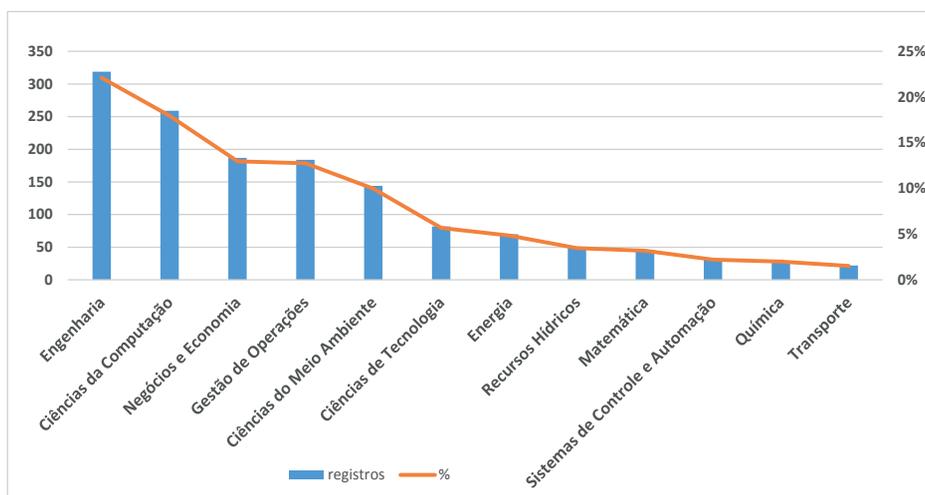


FIGURA 2 - Áreas de conhecimento. Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme a figura 2, é possível constatar que as quatro principais áreas de conhecimento das pesquisas são Engenharia (22,1%), Ciências da Computação (18,0%), Negócios e Economia (13,0%) e Gestão de operações (12,8%).

Vale ressaltar a existência de outras áreas de conhecimento como: Telecomunicações, Geologia, Agricultura, Administração Pública e Psicologia, indicando a vasta multidisciplinaridade do assunto.

4.2 Número de documentos publicados por ano

A figura 3 mostra como as 981 publicações encontradas comportam-se com relação ao ano de publicação. Pode-se identificar que as publicações sobre o tema pesquisado iniciam em 1985, com média aproximada de 5 publicações ao ano, mantendo-se assim até 2004, quando se observa uma tendência de crescimento na quantidade de publicações.

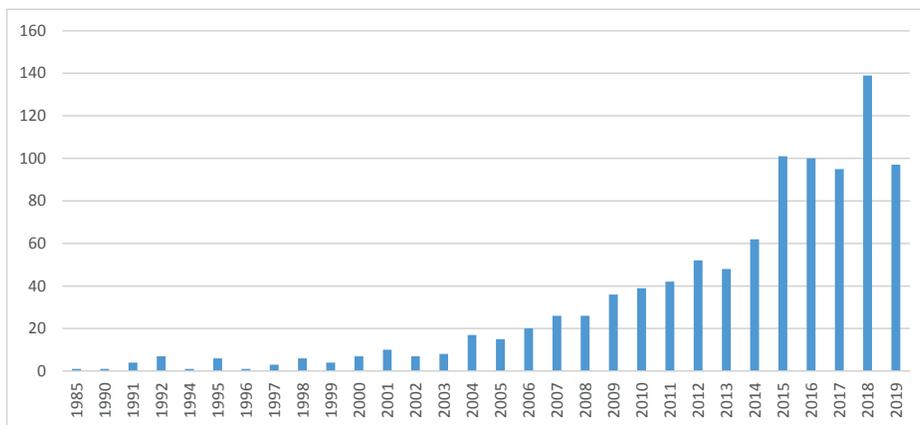


FIGURA 3 - Quantidade de artigos por ano. Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a figura, entende-se que o tema pesquisado vem ganhando forte notoriedade nos últimos 10 anos, ínterim em que foram publicadas cerca de 80% do total de publicações da série histórica, com destaque para o ano de 2018, em que foram registradas 14% das publicações.

4.3 Número de documentos publicados por país

Com o objetivo de identificar a localização dos pesquisadores que apresentam maior produção científica sobre o tema e, também, identificar quais países são considerados um campo fértil para as pesquisas científicas do ramo, elaborou-se um gráfico sobre a quantidade de publicações por país, representado na figura 4. Devido à grande quantidade de países que publicaram sobre o tema pesquisado, este gráfico considera apenas os países que tiveram 10 ou mais publicações sobre o tema pesquisado, de acordo com toda a série histórica de dados colhida.

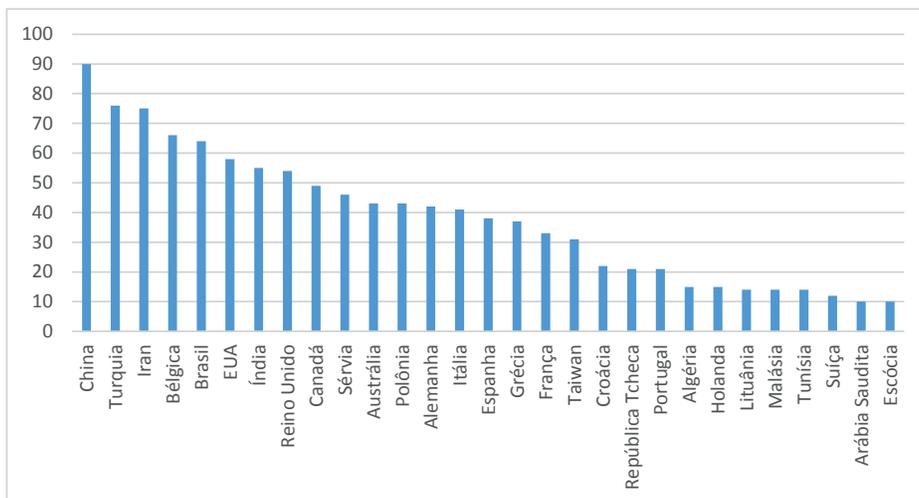


FIGURA 4 – Quantidade de publicações por país. Fonte: Elaborado pelos autores.

No total, 82 países apresentaram publicações. Na figura pode-se observar que 29 países apresentaram 10 ou mais publicações, com destaque para os cinco países com o maior número de publicações: China (90 publicações), Turquia (76 publicações), Iran (75 publicações), Bélgica (66 publicações) e Brasil (64 publicações). A figura 5 possibilita uma visão mais abrangente dos países com maior quantidade de publicações e representa a densidade de publicações de cada país.

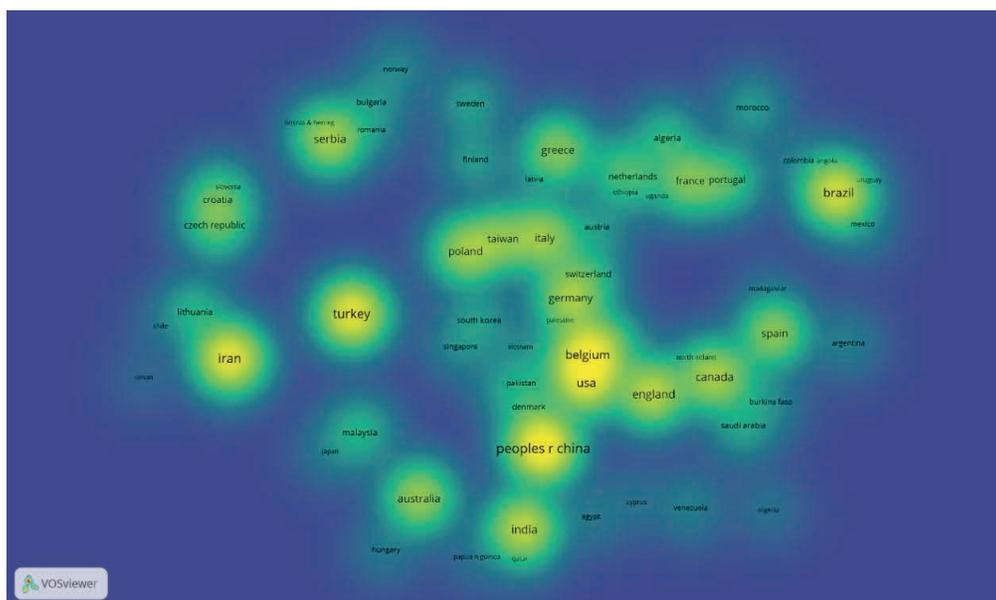


FIGURA 5 - Densidade de publicações por país. Fonte: Elaborado pelos autores.

4.4 Classificação das publicações por autor

Com o objetivo de identificar os autores de maior relevância na área pesquisada, elaborou-se uma listagem com os pesquisadores que mais produzem documentos científicos, após a análise dos resultados fornecidos pela base científica selecionada para esse estudo bibliométrico. Para elucidar quais são os principais autores sobre o tema pesquisado, elaborou-se o gráfico da figura 6 em que estão listados todos os autores com 10 ou mais publicações.

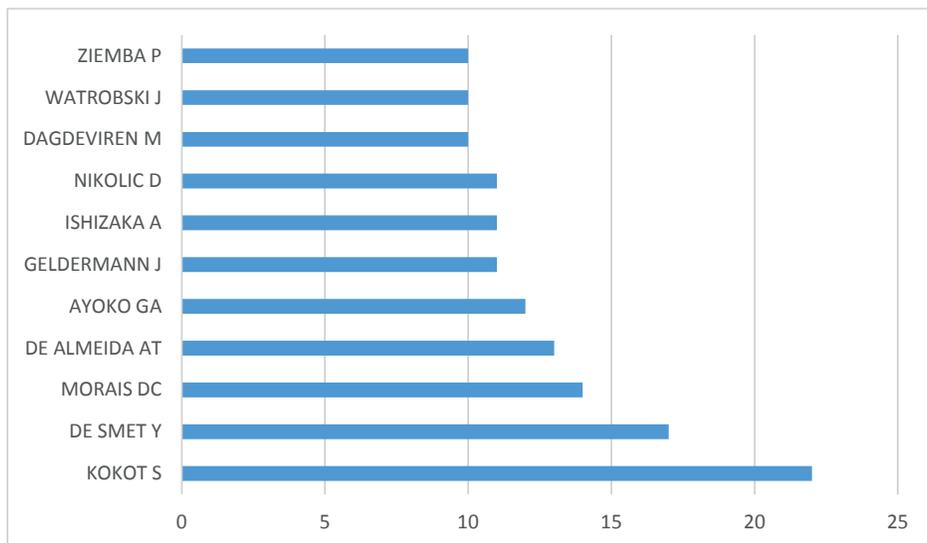


FIGURA 6 - Autores-chave da pesquisa. Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a figura, o autor que mais publicou foi o chinês Kokot, com 22 publicações, validando a hegemonia da China como o país que mais publica sobre o tema pesquisado. Em seguida, temos o belga Smet com 17 publicações. Vale ressaltar a grande representatividade brasileira nessa amostra: Morais, com 14 publicações e Almeida, com 13, ocupando os 3º e 4º lugares, respectivamente, o que revela o reconhecimento nacional em pesquisas sobre esse assunto. Destaca-se, ainda, a notoriedade das publicações realizadas pela Universidade Federal de Pernambuco.

Entretanto, é importante destacar que existe uma grande quantidade de autores não contemplados pelo gráfico acima. Desta forma, a figura 7 expõe, além dos principais autores já mencionados, aqueles que também demonstraram significativa produção, com 5 publicações ou mais.

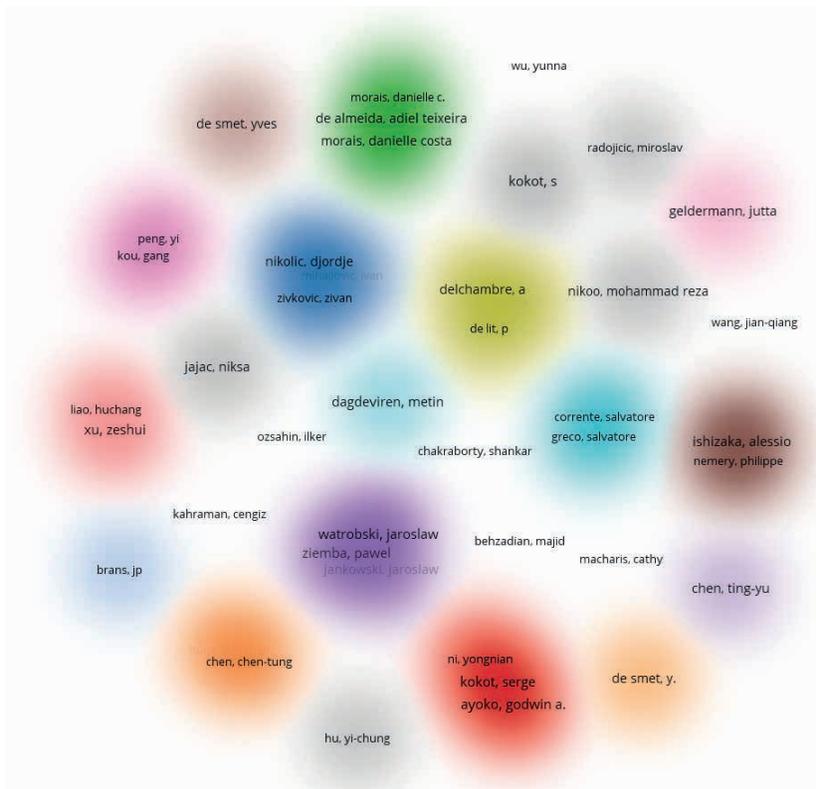


FIGURA 7 - Autores com 5 ou mais publicações. Fonte: Elaborado pelos autores.

4.5 Distribuição dos documentos de acordo com o meio de publicação

A figura 8 mostra o percentual de publicação encontrado para cada tipo de meio de publicação. Percebe-se pela figura 10 que mais de 98% da amostra é oriunda de periódicos e conferências.

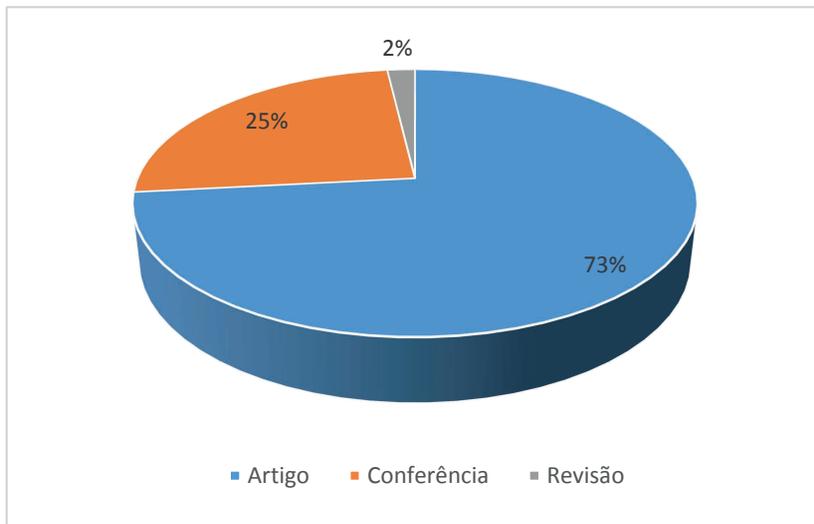


FIGURA 8 - Meios de publicação. Fonte: Elaborado pelos autores.

4.6 Quantidade de citações total ano a ano

Na figura 9, pode-se observar o número de referências bibliográficas ano a ano. A publicação mais antiga referenciada data de 1986.

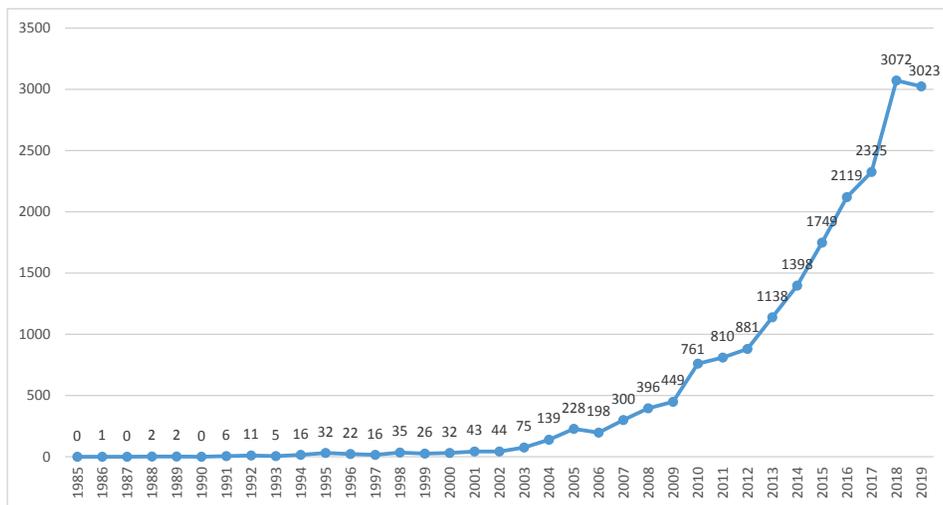


FIGURA 9 - Quantidade de citações ano a ano. Fonte: Elaborado pelos autores.

O total de citações realizadas nos últimos 10 anos representa cerca de 90% do total de citações da série histórica. Isso é explicado pelo aumento de publicações evidenciado nesse período, conforme constatado no item 4.2.

5 | CONCLUSÕES

O objetivo deste artigo foi o de detalhar como ocorreu a evolução da literatura que aborda o método PROMÉTHÉE como ferramenta para problemas de apoio multicritério para a tomada de decisão. Este objetivo foi alcançado através da seção 4, na qual foram realizadas a análise e a interpretação dos resultados obtidos por meio do estudo bibliométrico.

Dentre as principais informações descobertas, destacam-se: aproximadamente 79% das publicações foram publicadas a partir de 2010; há uma tendência crescente na quantidade de publicações nos últimos 20 anos, tendo os últimos 5 anos apresentado os maiores volumes de produção; mais de 90% das publicações são oriundas de periódicos e conferências; China, Turquia e Iran são os países mais prolíficos.

Além dos resultados listados, vale destacar a versatilidade para a utilização do método, marcada pela aplicação nas mais variadas áreas de conhecimento como administração pública, psicologia, meio ambiente, além das áreas afins como engenharia, ciências da computação e matemática.

Para estudos futuros, recomenda-se um aprofundamento que permita descrever a natureza dos problemas tratados por cada área de conhecimento levantada neste trabalho, utilizando-se como fonte de pesquisa outras bases de dados científicos. Adicionalmente, uma vez que o Brasil figura como um dos países com maior número de publicações, sugere-se a realização de uma pesquisa que avalie como o tema tem sido desenvolvido estritamente por autores nacionais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. T.; *et al.* **Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis**. Cham: Springer International Publishing. V. 231, 2015.

ARAÚJO, J. J.; AMARAL. **Aplicação do método Electre para problemas de seleção envolvendo projetos de desenvolvimento de software livre**. 2015.

AZEVEDO, T. N.; FERREIRA, M. M. G.; SILVA, R. G. A utilização dos métodos de apoio multicritério à decisão no Brasil, entre os anos de 2007 a 2017: um estudo bibliométrico. **Anais XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2018.

BRANS, J. P.; SMET, Y. PROMÉTHÉE Methods. In: **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys, International Series in Operations Research & Management Science**. 2nd ed. New York, NY: Springer US, 2016. P.187-219.

MAGALHÃES, R. F., RANGEL, L. A. D. e SILVA, C. A. Utilização do Apoio Multicritério à Decisão para Avaliação de Órgãos de Fomento Pesquisa. **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**. Rio de Janeiro, 2017.

QUEVEDO-SILVA, F. *et al.* Estudo bibliométrico: orientações sobre sua aplicação. **Revista Brasileira de Marketing**, v. 15, n. 2, p. 246-262, 2016.

PAULA, J. O.; MELLO, C. H. P. Seleção de um modelo de referência de PDP para uma empresa de autopeças através de um método de auxílio à decisão por múltiplos critérios. **Production**, v. 23, n. 1, p. 144-156, 2013.

ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. Kluwer, Dordrecht, 1996.

SANTOS, E. A. S. A.; SILVA, E. W. A.; FAZOLLO, R. J.; NUNES, A. O.; LIMA, A. S.; ANDRIOLA, W. B. Estudo sobre o uso de sistemas do tipo Enterprise Resource Planning em Instituições de Ensino Superior (IES). **Revista Educação & Linguagem**, v. 7, Número Especial, p. 69-80, 2020.

SARRAZIN, R.; SMET, Y.; ROSENFELD, J. An extension of Promethee to interval clustering. **Omega**, 2017.

VINCKE, P. **Multicriteria decision aid**. Bruxelles: Jonh Wiley & Sons, 1992.

PROPUESTA DE UN TREN DE ALTA VELOCIDAD EN MÉXICO

Data de aceite: 02/05/2023

Luis Rocha Chiu

Universidad Autónoma Metropolitana –
México

Víctor Jiménez Argüelles

Universidad Autónoma Metropolitana –
México

Luis Fernando Casales Hernández

Universidad Autónoma Metropolitana –
México

RESUMEN: El tren de alta velocidad es un medio de transporte que tiene la característica de trasladar en forma segura, cómoda y eficiente grandes cantidades de pasajeros en tiempos de viaje relativamente cortos para un rango de distancia específico, reduciendo la contaminación y la congestión de tráfico en las carreteras. Sin embargo, debido a los altos costos de inversión y operación la mayoría de líneas de alta velocidad en el mundo requieren subsidios públicos para su funcionamiento. Por este motivo, es conveniente realizar estudios económicos detallados que determinen adecuados retornos de las inversiones utilizadas con el empleo de ésta tecnología, especialmente

en países en vías de desarrollo como es el caso de México. En este trabajo se estudia la viabilidad financiera y ambiental de una línea de tren de alta velocidad de 610 km entre las ciudades de México y Guadalajara, con estaciones intermedias en Querétaro y León. La demanda potencial del proyecto se estima con los pasajeros que utilizan el transporte aéreo y el transporte terrestre (automóvil y autobús) en el corredor en estudio.

PALABRAS CLAVE: Tren de alta velocidad, viabilidad financiera, costos de inversión, transporte

PROPOSAL FOR A HIGH SPEED TRAIN IN MEXICO

ABSTRACT: The high-speed train is a type of transport which has the feature of moving large numbers of passengers in a safe, comfortable and efficient in relatively short travel times to a specific distance range, reducing pollution and highway traffic congestion. However, due to the high investment and operation costs the majority of high speed lines in the world require public subsidies for their operation. For this reason, it is convenient to carry out in-depth economic studies that determine

adequate returns on the investments used in the employment of this technology, especially in developing countries as it is the case of Mexico. This paper explores the environmental and financial feasibility of the Mexico-Guadalajara high speed train of 610 km long, with intermediate stations at Querétaro and León. The potential demand project is estimated with passengers using air transport and land transport (car and bus) in the corridor.

KEYWORDS: High speed train, financial viability, investment costs, passengers transport

1 | INTRODUCCIÓN

El sistema ferroviario de pasajeros que utiliza el tren de alta velocidad (TAV) es un modo de transporte que proporciona comodidad, seguridad y eficiencia, ya que es capaz de trasladar a un gran número de pasajeros en tiempos de viaje relativamente cortos para un rango de distancia específico, es menos contaminante en términos absolutos que otros modos de transporte, reduce la congestión de tráfico en las carreteras, ayuda a contener la expansión de los centros urbanos y aumenta la productividad económica. No obstante, requiere cantidades significativas de inversión y elevados costos de mantenimiento y operación (Todorovich et al, 2011).

La alta velocidad ferroviaria se sitúa principalmente en dos continentes: Europa y Asia. A principios de 2019 estaban operando más de 46 mil kilómetros de líneas ferroviarias de alta velocidad en todo el mundo y en proceso de construcción casi 12 mil kilómetros (UIC, 2019). Los primeros en adoptar este modo de transporte fueron los japoneses en 1964 con el tren Shinkansen entre Tokio y Osaka, siguieron en 1981 Francia con el tren de gran velocidad (TGV) de Paris a Lyon e Italia con la primera etapa de la Direttissima entre Roma y Florencia. Después continuó Alemania en 1988 con la introducción del Inter City Express (ICE) entre Fulda y Würzburg y en 1992 se pone en operación la Alta Velocidad Española (AVE) que conecta Madrid con Sevilla. Actualmente existen líneas de alta velocidad en operación en otros 13 países, de los cuales destaca China que tiene dos tercios de la longitud mundial de líneas de alta velocidad (Tabla 1).

País	En operación	%	En construcción	%	Inicio de operación
China	32,043	68.9%	7,207	60.1%	2003
Japón	3,041	6.5%	402	3.4%	1964
España	2,852	6.1%	904	7.5%	1992
Francia	2,814	6.1%	-	0.0%	1981
Alemania	1,571	3.4%	147	1.2%	1988
Italia	896	1.9%	53	0.4%	1981
Otros países	3,266	7.0%	3,274	27.3%	-
Total	46,483	100.0%	11,987	100.0%	

Tabla 1. Longitud de líneas ferroviarias de alta velocidad (Kilómetros)

Fuente: UIC-Unión internacional de ferrocarriles (2019)

Las evidencias muestran que los países persiguen diferentes propósitos al introducir el TAV como solución al transporte de pasajeros. Los objetivos buscados en la adopción de esta tecnología de transporte pueden agruparse en las siguientes categorías: solucionar los problemas de congestión en corredores de alta densidad de tráfico, mejorar el transporte de mercancías, contribuir a la integración territorial y equilibrar la distribución modal considerando la disminución de los costos de transporte y de la contaminación ambiental (Albalate y Bel, 2015).

Más de medio siglo de experiencia internacional con el TAV ha demostrado que es capaz de producir una amplia gama de beneficios, cada potencial corredor ferroviario requiere consideraciones y tratamientos únicos, basados en las características de la región y de las ciudades a lo largo de la ruta. Debido a los altos costos de inversión y operación el empleo de este modo de transporte precisa una visión económica clara y objetiva, capaz de ir más allá de su indudable avance tecnológico y de las aparentemente exitosas cifras de demanda (Campos et al, 2009).

La gran mayoría de líneas de alta velocidad en el mundo son subsidiadas por los gobiernos, solamente tres líneas han conseguido lograr rentabilidad financiera clara: Tokio-Osaka (1964), París-Lyon (1971) y Jian-Quingdao (2003); estas rutas son enormemente densas y conectan grandes núcleos de población que se encuentran en distancias eficientes para el TAV con respecto a otros modos de transporte (Crozet, 2014). Estas evidencias obligan a la evaluación económica detallada de esta tecnología especialmente en países en vías de desarrollo como es el caso de México.

2 | ANTECEDENTES

En la década de 1990, el gobierno mexicano determinó convertir el sistema ferroviario en la columna vertebral del transporte terrestre de carga en el país, por lo que entre 1996 y 1999 se otorgaron en concesión tres cuartas partes de las vías férreas del país utilizando el modelo americano, que integra verticalmente el control de la infraestructura, las vías y la operación de los trenes por parte de la empresa concesionaria (Gorostiza, 2011).

A partir de la concesión de los ferrocarriles al sector privado se detonó el movimiento de mercancías, en veinte años se ha duplicado el volumen carga alcanzando 128.0 millones de toneladas transportadas en 2018. Mientras que el transporte de pasajeros entre ciudades disminuyó notablemente con la concesión de los ferrocarriles, tan sólo en el período 1996-2000 el número de pasajeros transportados por ferrocarril se redujo en veinte veces al pasar de 6.7 millones de pasajeros en 1996 a sólo 334 mil pasajeros en el año 2000.

Cabe destacar que el transporte dominante en México se realiza por carretera, de los 3,906 millones de pasajeros que se transportaron en 2018 a lo largo del país, el 96.9% lo hizo por autobús, el 2.5% por avión y el 0.6% por barco; mientras que de las 1,009 millones de toneladas de mercancías, se movieron por autotransporte el 55.4%, por ferrocarril el

13.0%, por avión el 0.1% y por barco el 31.5% (SCT, 2019a).

Para lograr una mejor movilidad de pasajeros retomando el transporte ferroviario las autoridades mexicanas proyectaron en 2012 la construcción con recursos públicos de tres líneas de ferrocarril interurbano. El tren México-Toluca de 58 km de longitud se encuentra en proceso de construcción, el tren Transpeninsular de 336 km se canceló por falta de presupuesto público y el tren de alta velocidad México-Querétaro de 209 km también fue cancelado en 2015 después de haberse licitado y adjudicado para su construcción.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) planificó el TAV México-Querétaro con un trazado de vía doble nueva que en la mayor parte del recorrido aprovecha el derecho de vía del tren de mercancías. Además, considera el diseño para circular a una velocidad máxima de 300 km/h con señalización similar a la europea (ERTMS tipo 1 y 2) y trenes Siemens 103 de 200 metros de longitud con capacidad para 405 pasajeros.

Los resultados de la evaluación económica determinaron un valor presente neto de \$1,220.9 millones de dólares y una tasa interna de retorno de 14.6% considerando un horizonte de planeación de 35 años. Los principales costos del proyecto son: infraestructura, sistema de electrificación y seguridad, material móvil y derecho de vía. Los beneficios del proyecto son los ahorros en tiempo de viaje y reducción en costos de operación vehicular (SCT, 2014).

La demanda potencial del TAV México-Querétaro proviene exclusivamente del transporte terrestre de los usuarios de automóvil y de autobús, se determinó mediante un estudio de origen y destino, aplicación de encuestas de preferencias de viaje y calibración con modelos de transporte (SCT, 2014). Los resultados de la SCT aplicando este procedimiento determinaron con datos de 2012 una demanda de 22,220 pasajeros diarios, de los cuales 17,162 son usuarios de automóvil y 5,058 pasajeros de autobús, por lo que resulta una tasa de transferencia al TAV del 19.3% de usuarios de automóvil y del 8.6% de pasajeros de autobús. Los pasajeros diarios de automóvil y autobús se calcularon con el tránsito diario de 2012 que circuló en la autopista México-Querétaro, aplicando una ocupación promedio de 2.5 usuarios por cada automóvil y de 22 pasajeros por cada autobús (Tabla 2).

Autopista	Tránsito diario en 2012	Vehículos diarios			Pasajeros diarios	
		Automóvil	Autobús	Camiones	Automóvil	Autobús
México-Querétaro	50,240	35,620	2,663	11,957	89,050	58,586
Demanda por estudios de SCT					17,162	5,058
Porcentaje de transferencia al TAV					19.3%	8.6%

Tabla 2. Demanda potencial de pasajeros por carretera para el TAV México-Querétaro

En agosto de 2014, la SCT publicó la convocatoria internacional para licitar la construcción del TAV México-Querétaro, en noviembre de 2014 se adjudicó el proyecto al

consorcio Railway Construction Corporation, integrado por empresas de China, México y Francia. La inversión propuesta en el concurso fue de \$3,789.9 millones de dólares, que incluye la construcción en \$2,914.2 millones de dólares, el material rodante en \$299.7 millones de dólares y el mantenimiento y operación por cinco años en \$576.01 millones de dólares. Sin embargo, el 2 de febrero de 2015 el gobierno mexicano anunció la suspensión del proyecto en forma indefinida por recortes presupuestales.

3 | OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es estudiar la viabilidad financiera y ambiental de una propuesta de tren de alta velocidad entre las ciudades de México y Guadalajara de 610 km de longitud, con estaciones intermedias en Querétaro y León. Los costos del proyecto, las características técnicas del material rodante y la demanda terrestre se han estimado tomando como base la información del proyecto publicada por la SCT para el TAV México-Querétaro. El estudio de demanda se complementa con el análisis de los valores históricos de los últimos diez años del transporte terrestre (automóviles y autobuses) y del transporte aéreo.

4 | METODOLOGÍA Y MARCO DE REFERENCIA

El gobierno mexicano tiene establecido un marco institucional para el desarrollo de proyectos de inversión en infraestructura, el cual se compone de una herramienta principal para desarrollar proyectos de inversión denominada Metodología global de las etapas que componen el ciclo de inversiones (SHCP, 2012), que se aplica siguiendo las seis etapas siguientes: planeación estratégica, análisis y evaluación, priorización, presupuestación, seguimiento y evaluación ex-post de los proyectos de inversión. Los indicadores de rentabilidad para definir la conveniencia de realizar los proyectos son: el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR), valorados a la tasa social de descuento establecida actualmente en el 10% por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).

La factibilidad financiera del tren de alta velocidad México-Guadalajara se determina con el flujo de efectivo que resulta de la diferencia entre los costos y los ingresos del proyecto, calculando los indicadores de rentabilidad a un horizonte de 30 años. Los principales costos del proyecto son: derecho de vía, construcción, sistemas electromecánicos, señalización, adquisición de trenes, operación y mantenimiento de la línea. Los ingresos son los obtenidos por las tarifas de los pasajeros de acuerdo con la demanda estimada del proyecto.

Los beneficios ambientales del proyecto se miden con la reducción de emisiones de los automóviles, autobuses y aviones que dejan de circular porque sus pasajeros cambian del transporte terrestre y aéreo al transporte ferroviario de alta velocidad. Las emisiones más relevantes de automóviles y autobuses con motores de combustión interna son: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), las cuales se calculan

mediante factores de emisión por distancia recorrida de acuerdo con el modelo y tipo de vehículo. La estimación de emisiones del transporte aéreo se realiza con la metodología de la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI), cuyo enfoque se fundamenta en la distancia recorrida por las aeronaves y utiliza los datos de los tipos de aeronaves que operan en cada ruta aérea.

4.1 Descripción del proyecto.

El trayecto del tren de alta velocidad México-Guadalajara recorre la zona central del país, inicia en la Ciudad de México y termina en Guadalajara con una longitud total de 610 kilómetros, se proponen estaciones intermedias en Querétaro y León. La distancia parcial entre la Ciudad de México y Querétaro es de 209 km, entre Querétaro y León es de 176 km y de León a Guadalajara es de 225 km. La ruta propuesta aprovecha el derecho de vía de los ferrocarriles de carga concesionados a empresas privadas (Figura 1).



Figura 1. Trayecto del tren de alta velocidad México-Guadalajara

La ruta del TAV conecta las dos zonas metropolitanas más pobladas del país, la zona de la Ciudad de México con cerca de 21 millones de habitantes y la zona de Guadalajara con casi 5 millones, atraviesa por Querétaro y León, ciudades del Bajío mexicano que concentran importantes zonas industriales y agrícolas en su alrededor. De hecho la población conjunta de las cuatro zonas metropolitanas de estas ciudades representa casi la cuarta parte de los habitantes del país (Tabla 3).

Zonas metropolitanas	Área (km ²)	2000	2010	2015	% 2000-2015
Ciudad de México	7,866	18,396,677	20,116,842	20,892,724	0.85%
Querétaro	2,427	873,298	1,161,458	1,323,640	2.81%
León	1,760	1,269,179	1,609,504	1,768,193	2.24%
Guadalajara	3,600	3,772,833	4,521,755	4,867,383	1.71%
Total ZM		24,311,987	27,409,559	28,851,940	1.15%
Total México		97,483,412	112,336,538	119,938,473	1.39%

Tabla 3. Evolución de la población en el corredor México-Guadalajara

El costo de construcción se estimó a partir de la información del concurso internacional efectuado por la SCT en 2014 para el tren de alta velocidad México-Querétaro, el costo actualizado a 2018 por kilómetro de vía doble resulta en 13.94 millones de dólares. De este modo, se obtiene un costo de construcción para el TAV México-Guadalajara de 8,505.5 millones de dólares, utilizando el tipo de cambio promedio de 2018 de 19.24 pesos por dólar. Por cuestiones de economía de construcción y de mantenimiento, se propone que la línea se diseñe a una velocidad máxima de 250 km/h, por lo que el tiempo estimado del recorrido total será de 3 horas a una velocidad promedio de 210 km/h (Tabla 4).

Tramo	Longitud (km)	Costo (millones de dólares)	Tiempo de recorrido (minutos)
Ciudad de México - Querétaro	209	2,914.2	62
Querétaro - León	176	2,454.0	52
León - Guadalajara	225	3,137.3	66
Total	610	8,505.5	180

Tabla 4. Características y costos del tren de alta velocidad México-Guadalajara

Actualmente, un automóvil recorre los 610 km de las carreteras que unen las ciudades de México y Guadalajara en un tiempo promedio de 7.2 horas en un sentido, mientras que los autobuses emplean un tiempo de viaje de 8.0 horas en promedio. En el caso del tiempo de viaje por avión es equivalente a las 3.0 horas de recorrido en el tren de alta velocidad.

4.2 Demanda potencial del proyecto.

La demanda del tren de alta velocidad entre México y Guadalajara considera el transporte por avión y el de carretera, tanto de automóviles como de autobuses. Se estudiaron cuatro rutas de avión entre las ciudades que componen el trayecto (SCT, 2019b), excluyendo las rutas Querétaro-León y León-Guadalajara que mueven pocos pasajeros, en conjunto estas rutas transportan el 2.6% de los pasajeros del país y la tasa de aumento medio anual fue de 6.7% entre 2007 y 2018, contra el 5.0% del transporte aéreo nacional en

el mismo período. La ruta México-Guadalajara concentra el 83.4% del transporte aéreo en el corredor con incremento medio anual del 6.7%, le sigue la ruta México-León que mueve el 12.4% con aumento del 5.7% cada año y las otras rutas transportan menos del 5% de los pasajeros (Tabla 5).

Ruta	2007	2018	% 2007-2018	Pasajeros diarios	%
México-Guadalajara	1,550,140	3,167,438	6.7%	8,678	83.4%
México-Querétaro	21,318	119,803	17.0%	328	3.2%
México-León	254,052	469,675	5.7%	1,287	12.4%
Guadalajara-Querétaro	31,590	41,483	2.5%	114	1.1%
Totales	1,857,100	3,798,399	6.7%	10,407	100.0%
Total México	86,480,204	148,014,982	5.0%		

Tabla 5. Transporte aéreo de pasajeros en el corredor México-Guadalajara

La demanda del transporte por carretera se determina a partir de los datos viales que publica anualmente la SCT para las carreteras del país (SCT, 2019c), con los porcentajes de automóviles, autobuses y camiones del tránsito diario que circulan en cada carretera se obtiene el volumen diario de cada tipo de vehículo. Los pasajeros diarios se calculan con una ocupación promedio de 2.5 pasajeros por automóvil y 22 pasajeros por autobús, valores utilizados en la evaluación económica de proyectos por la SCT. Los resultados muestran que el total del transporte terrestre de pasajeros por automóvil y autobús está más concentrado en el tramo Querétaro-León con 220,562 pasajeros diarios, cuyo valor es 29.2% mayor que el del tramo México-Querétaro que mueve 170,662 pasajeros por día, y casi tres veces superior al tramo León-Guadalajara con 83,881 pasajeros diarios. (Tabla 6).

Tramo	Tránsito diario	% 2007-2018	Vehículos diarios			Pasajeros diarios	
			Automóvil	Autobús	Camiones	Automóvil	Autobús
México-Querétaro	58,078	2.6%	41,177	3,078	13,823	102,943	67,719
Querétaro-León	76,420	7.1%	54,827	3,795	17,797	137,068	83,493
León-Guadalajara	30,652	4.8%	22,046	1,307	7,298	55,116	28,765

Tabla 6. Transporte de pasajeros por carretera en el corredor México-Guadalajara

La demanda potencial del TAV México-Guadalajara se determina con los datos del estudio de la SCT para el TAV México-Querétaro, cuya tasa de transferencia al TAV es de 19.3% para los pasajeros de automóvil y de 8.6% para los usuarios de autobús. Con los datos viales de 2018 se obtienen 19,868 pasajeros diarios provenientes del transporte por automóvil y 5,824 usuarios del autobús para un total de 25,692 pasajeros en el tramo México-Querétaro. En los tramos Querétaro-León y León-Guadalajara se utilizan los

mismos porcentajes de transferencia modal con lo que se obtiene una demanda diaria total de 33,635 y 13,111 pasajeros, respectivamente (Tabla 7).

Tramo	Automóvil		Autobús		Demanda diaria total del TAV
	Pasajeros Diarios	Demanda del TAV (19.3%)	Pasajeros Diarios	Demanda del TAV (8.6%)	
México-Querétaro	102,943	19,868	67,719	5,824	25,692
Querétaro-León	137,068	26,454	83,493	7,180	33,635
León-Guadalajara	55,116	10,637	28,765	2,474	13,111

Tabla 7. Demanda potencial de pasajeros por carretera en el corredor México-Guadalajara

Debido a que el transporte por carretera es el medio dominante en México las tasas de transferencia de pasajeros al TAV pueden considerarse demasiado conservadoras. Para simplificar la demanda potencial del TAV México-Guadalajara se utilizan los pasajeros de automóvil y del autobús del tramo México-Querétaro de manera uniforme en todo el trayecto, es decir, un total de 25,692 pasajeros diarios.

Diversos estudios (Campos et al, 2009; Zhao et al, 2015) muestran que la transferencia modal del avión al TAV varía en función de la distancia entre pares de ciudades, las tarifas de cada medio de transporte, la disponibilidad de los servicios y el tiempo de viaje. Por ejemplo, el TAV capturó el 47% de la cuota de las aerolíneas en la ruta Madrid-Barcelona solo en un año y en la ruta Madrid-Sevilla capturó el 82% en el mismo tiempo (Albalate y Bel, 2015). Con base en estos porcentajes de captación de usuarios, en este artículo se utiliza una demanda de dos tercios del total de pasajeros de las rutas aéreas que pasan en el corredor México-Guadalajara, es decir el 66.7% de 10,407 pasajeros diarios arroja 6,942 pasajeros captados por el TAV. Esta cantidad de pasajeros coincide con el 80% de la ruta aérea México-Guadalajara sin considerar las otras rutas, que en 2018 movilizó 8,678 pasajeros diarios, por lo que resulta una demanda de 6,942 usuarios diarios atraídos por el TAV.

De esta forma, la demanda potencial del proyecto integrada por los 25,692 pasajeros captados del transporte terrestre más los 6,942 usuarios captados de las aerolíneas da un total de 32,634 pasajeros diarios en ambos sentidos, esto significa un total de 11,911,410 pasajeros por año (Tabla 8).

Demanda del transporte terrestre				Demanda del transporte aéreo	
Tramo	Automóvil	Autobús	Suma	Tramo	Avión
México- Guadalajara	19,868	5,824	25,692	México-Guadalajara	6,942
Demanda potencial (pasajeros diarios en ambos sentidos)					32,634

Tabla 8. Demanda potencial para el tren de alta velocidad México-Guadalajara

En la evaluación del proyecto se estima que la demanda aumente 2.4% los primeros diez años de operación del proyecto, 1.2% para los siguientes diez años y en los últimos diez años se mantenga sin crecimiento, con estas tasas la demanda anual del proyecto es de 11.9 millones de pasajeros el primer año de operación y de 14.7 millones de pasajeros en el año 30. Estos valores son excesivamente conservadores si se toma en cuenta que el tránsito terrestre en el corredor ha aumentado en la última década al 5.1% anual y el número de pasajeros por vía aérea al 6.7% anual, para una población que ronda los 29 millones de habitantes y que ha tenido una tasa media de crecimiento del 1.15% en los últimos quince años.

5 | RESULTADOS

Evaluación financiera. Se espera una mayor proporción de usuarios del tren de alta velocidad derivada de los pasajeros de autobús, siempre que las tarifas sean parecidas entre ambos servicios. Al respecto, se realizó un estudio exhaustivo para diversos servicios de autobús y por avión en el corredor México-Guadalajara, los resultados arrojaron una tarifa en dólares por kilómetro de: 0.07 en autobús primera clase, 0.09 en autobús clase especial y 0.24 por avión en clase económica. Los ingresos del proyecto se estiman usando la tarifa en autobús clase especial y la del transporte aéreo. También, se ha incluido un costo por kilómetro de 0.15 dólares, que corresponde con tarifas de 0.13 euros por kilómetro utilizadas en algunos países de Europa y en su momento fue la tarifa propuesta para el TAV México-Querétaro (Tabla 7).

Tarifa por km (Dólares/km)	0.09	0.15	0.24
Costo por viaje (Dólares)	54.90	91.50	146.40
Pasajeros diarios	32,634	32,634	32,634
Ingresos año 6 (Millones de dólares)	653.9	1,089.9	1,743.8
Ingresos año 35 (Millones de dólares)	809.7	1,349.6	2,159.3

Tabla 7. Estimación de ingresos del tren de alta velocidad México-Guadalajara

La factibilidad financiera del tren de alta velocidad México-Guadalajara considera: 8,880.1 millones de dólares de inversión total, de los que 8,505.5 son costo de construcción y 374.6 para la adquisición de 15 trenes. Los costos de mantenimiento y operación (109 mil dólares por kilómetro al año) son de 72.0 millones de dólares el primer año del proyecto y de 99,2 millones de dólares para el último año, con tasa de aumento igual a la utilizada en la demanda. Los ingresos se calculan para las tres diferentes tarifas en un horizonte de 30 años

Los resultados de la evaluación financiera indican la viabilidad del proyecto del TAV

México-Guadalajara para la tarifa más alta comparable al costo de viajar por avión con una TIR del 15.5% y para la tarifa intermedia con TIR del 10.2%. La tarifa equivalente al autobús (\$0.09/km) arroja una TIR de 5.5%, que si bien es baja al no ser negativa, indica que la línea es autofinanciable y no requiere el empleo de subsidios públicos (Tabla 8).

Año	Costos (mdd)			Tarifa \$0.09/km		Tarifa \$0.15/km		Tarifa \$0.24/km	
	Inversión	Operación y mantto.	Total	Ingresos (mdp)	Flujo de efectivo	Ingresos (mdp)	Flujo de efectivo	Ingresos (mdp)	Flujo de efectivo
1 al 5	-8,880.1		-8,880.1		-8,880.1		-8,880.1		-8,880.1
6		-72.0	-72.0	653.9	581.9	1,089.9	1,017.9	1,743.8	1,671.8
35		-99.2	-99.2	809.7	710.5	1,349.6	1,250.4	2,159.3	2,060.1
Valor presente neto (VPN)				-3,075,3 mdd		137.4 mdd		4,956.5 mdd	
Tasa interna de retorno (TIR)				5.5%		10.2%		15.5%	

Tabla 8. Evaluación financiera del tren de alta velocidad México-Guadalajara

Los factores que más influyen en la rentabilidad financiera de los proyectos ferroviarios de alta velocidad son: los costos de construcción y la demanda de pasajeros, en menor medida los costos de operación y mantenimiento. Los datos de las líneas de alta velocidad en el mundo reflejan una gran variabilidad de costos, el costo medio de construcción por kilómetro de vía doble de TAV fluctúa entre 10 y 70 millones de dólares, siendo los valores más bajos en Europa los de España con 20.3 millones de dólares y Francia con 24.8 millones de dólares, y el más alto el de Italia con 68.8 millones de dólares (Albalate y Bel, 2015). En Asia, los trenes de alta velocidad de Corea, Japón y Taiwán tienen costos entre 40 y 60 millones de dólares por kilómetro, mientras que China emplea en promedio 10.0 millones de dólares por kilómetro para construir líneas de 250 km/h y 18.6 millones de dólares para líneas de 350 km/h con lo cual ha logrado los valores más bajos de construcción a escala mundial (Wu, 2013).

El TAV México-Guadalajara se presupuestó con el costo actualizado de la licitación del tren de alta velocidad México-Querétaro, el valor de 13.9 millones de dólares por kilómetro está dentro de los parámetros de construcción de China pero por debajo de los otros países. Para revisar la viabilidad del proyecto se realizaron ejercicios financieros modificando al mismo tiempo los costos de construcción, operación y mantenimiento del TAV México-Guadalajara para las tres tarifas propuestas (Figura 2).



Figura 2. Variación de la rentabilidad para diferentes costos del TAV México-Guadalajara

Los resultados del análisis de sensibilidad muestran baja rentabilidad del proyecto conforme aumentan los costos de construcción, mantenimiento y operación hasta duplicarse estos valores. No obstante, no se alcanzan a obtener tasas negativas, lo que claramente indica que no se requieren subsidios públicos. Por último se realizó a costo base el análisis con una reducción de un tercio de la demanda que resulta en 21,918 pasajeros diarios (8 millones de pasajeros anuales) y la TIR obtenida para la tarifa baja es de 2.3%, para la tarifa intermedia de 6.4% y para la tarifa más alta de 10.9%. Por último, se duplicaron los costos de inversión y operación con la demanda disminuida en un tercio, las tasas internas de retorno obtenidas son de -2.8%, 1.0% y 4.7%, respectivamente para las tarifas baja, intermedia y alta.

Beneficios ambientales. Las emisiones contaminantes del transporte terrestre se calculan en función del número de automóviles y de autobuses que dejan de circular diariamente, la distancia del proyecto y los factores de emisión por distancia para cada contaminante. Una determinación más precisa de las emisiones contaminantes requiere la información detallada de la composición de los vehículos que circulan en el corredor en estudio, como: marca, antigüedad, potencia y estado mecánico. Debido a que no se cuentan con esos datos, se han seleccionado factores de emisión promedio para automóviles de potencia intermedia con motores de gasolina y autobuses de pasajeros con motores diésel (SEDEMA, 2012; SEDEMA, 2016). Los resultados muestran una reducción de emisiones del transporte terrestre de casi 440 mil toneladas anuales con la construcción del proyecto, de las cuales el 89.4% corresponden a las emisiones contaminantes de los automóviles y el 10.6% restante a las emisiones de los autobuses (Tabla 9).

Emisiones en g/km		Emisiones de automóviles				Emisiones de autobuses			
		0.010	0.017	222		0.015	0.025	788	
Corredor	km	Número	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	Número	CH ₄	N ₂ O	CO ₂
México-Guadalajara	610	7,947	18	30	392,817	265	1	1	46,446
Totales en toneladas anuales					392,864	46,448			

Tabla 9. Reducción de emisiones del transporte terrestre en el corredor México-Guadalajara

Las emisiones de bióxido de carbono (CO₂) del transporte aéreo se evalúan con la metodología desarrollada por la OACI cuyo enfoque se fundamenta en la distancia recorrida, consumos de combustible, factores de ocupación y tipos de aeronaves que operan actualmente en las rutas comerciales de todo el mundo (OACI, 2018).

Las bases de datos de las aeronaves y de las rutas se actualizan y mejoran de manera permanente con el objeto de obtener estimaciones precisas de los gases contaminantes por medio de una calculadora en la que se indica el origen y el destino para estimar la magnitud de la huella ambiental en kilogramos de CO₂ por pasajero.

La calculadora arroja un resultado de 78.4 kg de CO₂ por cada pasajero que utiliza la ruta aérea México-Guadalajara en viaje sencillo, para los más de dos y medio millones de viajeros que dejarán de utilizar el avión la reducción total de emisiones anuales serán de casi 200 mil toneladas anuales (Tabla 10).

Ruta	Pasajeros diarios	Pasajeros anuales	CO ₂ /pasajero (kg)	CO ₂ (Toneladas/año)
México-Guadalajara	6,942	2,533,830	78.4	198,652

Tabla 10. Reducción de emisiones del transporte aéreo en la ruta México-Guadalajara

La reducción total de emisiones contaminantes por la transferencia de usuarios del transporte terrestre y aéreo a la línea de alta velocidad es de 637,964 toneladas anuales. Sin embargo, es necesario estimar las emisiones originadas por el nuevo medio de transporte, las cuales se calculan con el factor de emisiones de CO₂ por pasajero-kilómetro que se utiliza en el tren español de alta velocidad AVE (OCCC, 2019). Las emisiones anuales de la operación del tren de alta velocidad México-Guadalajara con la demanda anual de 11.9 millones de pasajeros resulta en 227,279 toneladas anuales, por lo que la reducción neta de emisiones del proyecto es de 410,685 toneladas cada año (Tabla 11).

Línea	Pasajeros diarios	Pasajeros anuales	g CO ₂ /pasajero-km	CO ₂ (Toneladas/año)
México-Guadalajara	32,634	11,911,410	31.28	227,279

Tabla 11. Emisiones de la operación del tren de alta velocidad México-Guadalajara

Ahorros del tiempo de viaje. El TAV México-Guadalajara recorrerá el trayecto en 3.0 horas, los usuarios del automóvil realizan el mismo recorrido por carretera en 7.2 horas con lo que el ahorro de tiempo es de 4,2 horas por pasajero, considerando la demanda de 19,868 pasajeros diarios se obtiene un ahorro de tiempo de 30,457,644 horas al año. Por su parte, el tiempo de viaje de los autobuses es de 8.0 horas en promedio por lo que los 5,824 pasajeros diarios de este medio obtienen un ahorro de 5.0 hora cada día lo que resulta en 10,628,800 de horas al año. En el caso del tiempo de viaje por avión es equivalente a las 3.0 horas de recorrido en el tren de alta velocidad.

6 I CONCLUSIONES

Los sistemas ferroviarios de alta velocidad generan los siguientes beneficios a la sociedad: proporcionan menores tiempos de viaje, contribuyen a mitigar la congestión de las carreteras, reducen la contaminación ambiental, tienen mayor capacidad de transporte, disminuyen los costos de operación vehicular, promueven un mejor uso del espacio público y son más seguros que otros modos de transporte.

El corredor de transporte México-Guadalajara reúne las condiciones técnicas y económicas para justificar la introducción de una nueva línea de tren de alta velocidad para pasajeros, entre las que se pueden mencionar: ciudades densamente pobladas, carreteras con niveles elevados de tránsito, demanda aérea de pasajeros, economía regional en constante crecimiento y distancia apropiada entre ciudades.

Los cambios en la demanda no se toman en cuenta en la evaluación financiera debido a que la cantidad de pasajeros del TAV México-Guadalajara se determinó con la tarifa intermedia, semejante a la de los trenes de alta velocidad europeos, esto significa que la demanda potencial será mayor en caso de aplicar la tarifa más baja, comparable a la de autobús, y para la tarifa más alta, similar a la del transporte aéreo, la demanda del proyecto será menor. Asimismo, no se considera la cuantificación de demanda inducida tanto en el corredor original como en la ruta alterna a Guadalajara que atraviesa el Estado de Michoacán.

Los resultados de la evaluación financiera señalan buena rentabilidad para tarifas del TAV comparables a las del transporte aéreo, adecuada rentabilidad en el caso de tarifas por kilómetro similares a las empleadas en algunos países europeos y baja rentabilidad con el uso de la tarifa por kilómetro que cobra el autobús en el país. El análisis de sensibilidad con la demanda fija y el aumento de costos de inversión y operación proporciona como

resultado tasas de retorno positivas para todos los rangos tarifarios, situación que indica que el proyecto es autofinanciable. Solamente se obtiene retorno negativo al disminuir la demanda en un tercio y duplicar los costos del proyecto para el caso de la tarifa equivalente al autobús.

También se muestran los beneficios ambientales que caracterizan a este tipo de tecnologías, así como el ahorro en tiempo de los pasajeros del corredor. De esta forma, los resultados expresan una reducción neta de emisiones contaminantes superior a las 410 mil toneladas anuales; mientras que el ahorro en tiempo de los usuarios procedentes del transporte por automóvil es del orden de 30 millones de horas por año y el de los pasajeros del transporte por autobús de casi 11 millones de horas al año. Finalmente, se considera que el tiempo de viaje es equivalente entre los pasajeros del tren de alta velocidad y los usuarios del transporte aéreo, para los cuales no hay ahorro en el tiempo de viaje.

REFERENCIAS

Albalade, D. y Bel, G., (2015), La experiencia internacional en alta velocidad ferroviaria, FEDEA Universidad de Barcelona, España

Campos, J., De Rus, G. y Barrón, I., (2009), El transporte ferroviario de alta velocidad-Una visión económica, Documento de Trabajo No. 3, Fundación BBVA, España

Crozet, Y., (2014), Performance in France: From appraisal methodologies to ex-post evaluation, The Economics of Investment in High-Speed Rail, International Transport Forum,

Gorostiza, F., (2011), Renacimiento de los ferrocarriles mexicanos de carga, Asociación Mexicana de Ferrocarriles, México

OACI, (2018), ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology, Canadá.

Oficina Catalana del Cambio Climático, (2019), Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero-Versión de marzo de 2019, España

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (2014), Análisis costo-beneficio tren de alta velocidad México-Querétaro, Informe final de Modelística, versión pública.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (2019a), Estadística mensual de diciembre de 2018, México.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (2019b), Estadística operativa de la aviación civil, México.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (2019c), Datos viales, México

Secretaría de Hacienda y Crédito Público, (2012), Metodología global de las etapas que componen el ciclo de inversiones, México,

Secretaría del Medio Ambiente, (2012), Registro de emisiones de gases de efecto invernadero del Distrito Federal.

Secretaría del Medio Ambiente, (2016), Inventario de emisiones de la Ciudad de México.

Todorovich, P., Schned, D., y Lane, R. (2011). High-Speed Rail International Lessons for U.S. Policy Makers, Lincoln Institute of Land Policy, USA.

UIC-Union Internationale des Chemins de Fer. (2019). High speed lines in the world, actualizado al 28 de enero de 2019

Wu, Jianhong, (2013), The Financial and Economic Assessment of China's High Speed Rail Investments, Roundtable on The Economics of Investment in High Speed Rail, International Transport Forum

Zhao, J., Zhao, Y. y Li, Y., (2015), The variation in the value of travel-time savings and the dilemma of high-speed rail in China, Transportation Research Part A 82, pp. 130-140

FORMALISMO DE CIDADES INTELIGENTES COM UMA INSTANCIACÃO EMPREGANDO ROBÓTICA COMO AVANÇO TECNOLÓGICO

Data de aceite: 02/05/2023

Márcio Mendonça

Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Emanuel Ignacio Garcia

Acadêmico do Departamento Acadêmico
de Engenharia Elétrica (DAELE)
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
<http://lattes.cnpq.br/8501809850590859>
Cornélio Procópio – PR

Fabio Rodrigo Milanez

Faculdade da Industria Senai
Londrina-PR
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Matheus Gil Bovolenta

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Acadêmico do Departamento Acadêmico
de Engenharia Elétrica (DAELE)
<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>
Cornélio Procópio – PR

Rodrigo Rodrigues Sumar

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento Elétrica (DAELE)
<http://lattes.cnpq.br/1461760661483683>
Cornélio Procópio – PR

André Luis Shiguemoto

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/9243656534211182>

Vicente de Lima Gongora

Faculdade da Industria Senai
<http://lattes.cnpq.br/6169590836932698>
Londrina-PR

Marcio Aurélio Furtado Montezuma

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná –
Departamento Engenharia Mecânica
(DAMEC)
<http://lattes.cnpq.br/2487283169795744>
Cornélio Procópio – PR

Janaína Fracaro de Souza Gonçalves

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná –
PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Mecânica PP/CP
<http://lattes.cnpq.br/1857241899832038>
Londrina-PR

Francisco de Assis Scannavino Junior

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento Elétrica (DAELE)
<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

Wesley Candido da Silva

Faculdade da Industria Senai

Londrina-PR

<http://lattes.cnpq.br/3173604840977810>

Carlos Alberto Paschoalino

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Departamento Elétrica (DAELE)

<http://lattes.cnpq.br/0419549172660666>

Emerson Ravazzi Pires da Silva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Departamento Elétrica (DAELE)

<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

Kleber Romero Felizardo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Departamento Elétrica (DAELE)

<http://lattes.cnpq.br/6914500968214052>

RESUMO: A robótica é uma das tecnologias mais relevantes e inovadoras no contexto das cidades inteligentes. Ela tem um papel fundamental na otimização de diversos setores, como transporte, logística, manufatura, saúde e segurança pública. Com o uso de robôs e sistemas autônomos, é possível melhorar a eficiência e a qualidade dos serviços prestados à população. Por exemplo, robôs autônomos podem ser utilizados para a coleta de lixo, limpeza urbana, manutenção de estradas e pontes, além de apoiar em operações de resgate em caso de desastres naturais. Além disso, os robôs também podem ser usados em hospitais, laboratórios e farmácias para a automação de processos e serviços. Outro exemplo é o uso de drones na segurança pública, onde eles podem ser utilizados para patrulhamento de áreas de difícil acesso, monitoramento de multidões em eventos públicos, além de apoiar no combate ao crime e na fiscalização de trânsito. Em suma, a robótica é uma das tecnologias chave das cidades inteligentes, ajudando a tornar as cidades mais eficientes, sustentáveis e seguras para seus habitantes. Seu uso é fundamental para atender às demandas cada vez mais complexas dos centros urbanos, tornando a vida nas cidades mais confortável e segura. Esse trabalho se encerra com uma conclusão e sugestão para futuros trabalhos.

PALAVRAS-CHAVE: Aplicações tecnológicas em meio social; Robótica assistiva; Robótica autônoma, cidades inteligentes.

FORMALISM OF SMART CITIES WITH AN INSTANTIATION EMPLOYING ROBOTICS AS TECHNOLOGICAL ADVANCE

ABSTRACT: Robotics is one of the most relevant and innovative technologies in the context of smart cities. It plays a fundamental role in optimizing various sectors such as transportation, logistics, manufacturing, healthcare, and public safety. With the use of robots and autonomous systems, it is possible to improve the efficiency and quality of services provided

to the population. For example, autonomous robots can be used for waste collection, urban cleaning, road and bridge maintenance, as well as supporting rescue operations in natural disasters. Additionally, robots can also be used in hospitals, laboratories, and pharmacies for process and service automation. Another example is the use of drones in public safety, where they can be used for patrolling hard-to-reach areas, monitoring crowds at public events, as well as supporting crime prevention and traffic enforcement. In summary, robotics is one of the key technologies of smart cities, helping to make cities more efficient, sustainable, and safe for their inhabitants. Its use is essential to meet the increasingly complex demands of urban centers, making life in cities more comfortable and secure. This work concludes with a summary and suggestions for future work.

KEYWORDS: Technological applications in social environment; Service robotics; Autonomous robotics, smart cities.

1 | INTRODUÇÃO

As cidades inteligentes, também conhecidas como smart cities, são cidades que utilizam tecnologias avançadas para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos, tornando-se mais eficientes, seguras e sustentáveis.

Essas tecnologias incluem sistemas de transporte inteligente, iluminação pública inteligente, gerenciamento de resíduos, monitoramento do tráfego, sensores para monitoramento de qualidade do ar e da água, entre outras.

O objetivo das cidades inteligentes é tornar as cidades mais eficientes em termos de uso de recursos, reduzir os custos operacionais e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos. Isso é alcançado através da utilização de tecnologias que permitem a otimização dos recursos e a coleta de dados em tempo real, o que ajuda os gestores públicos a tomar decisões mais informadas.

Além disso, as cidades inteligentes podem melhorar a participação dos cidadãos no processo de tomada de decisão, fornecendo informações em tempo real sobre a qualidade do ar, do tráfego e outras questões importantes.

No entanto, é importante lembrar que a implementação de tecnologias em uma cidade inteligente requer investimentos significativos em infraestrutura e equipamentos, além de uma gestão eficiente e uma participação ativa da comunidade.

As cidades inteligentes são um conceito que tem se tornado cada vez mais relevante na atualidade. Com o crescimento acelerado das áreas urbanas e o aumento da demanda por serviços e infraestrutura, a implementação de soluções tecnológicas tem se mostrado uma opção cada vez mais necessária e eficaz.

O conceito de cidades inteligentes envolve a utilização de tecnologias avançadas para tornar as cidades mais eficientes, sustentáveis e humanas. Isso pode ser alcançado através da integração de diferentes sistemas e equipamentos, como sensores, câmeras, redes de comunicação e sistemas de análise de dados.

A história das cidades inteligentes remonta ao início do século XX, com o surgimento de conceitos como “cidades-jardins” e “cidades planejadas”. No entanto, foi a partir da década de 1990 que a ideia começou a se popularizar, com o advento da internet e da computação em nuvem.

Dentre as tecnologias e soluções mais utilizadas em cidades inteligentes, destacam-se:

Sensores: utilizados para monitorar o ambiente urbano e coletar informações sobre diversos aspectos, como trânsito, qualidade do ar, níveis de ruído, entre outros.

Redes de comunicação: permitem a conexão entre os diferentes dispositivos e sistemas utilizados em uma cidade inteligente, possibilitando o compartilhamento de informações e a tomada de decisões mais eficientes.

Sistemas de análise de dados: utilizados para processar as informações coletadas pelos sensores e outros dispositivos, permitindo a identificação de padrões e a geração de insights para a tomada de decisões.

Soluções de mobilidade urbana: incluem sistemas de transporte público, compartilhamento de carros e bicicletas, além de aplicativos e plataformas para facilitar a locomoção dos cidadãos.

Sistemas de segurança: envolvem a utilização de câmeras de vigilância, sistemas de reconhecimento facial e outras tecnologias para garantir a segurança da população.

Apesar dos benefícios que as cidades inteligentes podem trazer, também existem desafios e impactos negativos que precisam ser considerados. Dentre os principais desafios, destacam-se a necessidade de investimentos significativos em infraestrutura e tecnologia, além da importância de garantir a privacidade e segurança dos dados coletados.

Além disso, a implementação de soluções tecnológicas pode gerar impactos negativos, como o aumento da exclusão digital e a falta de consideração com aspectos sociais e culturais das comunidades locais.

Em suma, as cidades inteligentes são uma tendência cada vez mais presente em todo o mundo, com o objetivo de tornar as cidades mais eficientes e sustentáveis. Porém, é fundamental que essas soluções sejam implementadas de forma consciente e responsável, levando em conta as necessidades e particularidades de cada comunidade.

Algumas das principais revisões da área podem ser conferidas a seguir

As cidades inteligentes, ou smart cities, são uma das principais tendências do desenvolvimento urbano no século XXI. A literatura científica tem se dedicado a estudar o conceito de cidades inteligentes, a fim de identificar as características que as tornam inteligentes e as possíveis implicações para o planejamento urbano e a vida dos cidadãos.

Segundo Alawadhi e Dwivedi (2018), as pesquisas sobre cidades inteligentes têm se concentrado em temas como tecnologia, governança, sustentabilidade e participação cidadã. Esses autores destacam a necessidade de estudos mais aprofundados sobre os aspectos sociais, culturais e econômicos das cidades inteligentes.

Bibri e Krogstie (2017) realizaram uma extensa revisão de literatura interdisciplinar sobre cidades inteligentes sustentáveis do futuro, identificando a necessidade de integração de várias disciplinas para lidar com os desafios complexos dessas cidades. Eles destacam a importância de uma abordagem colaborativa e participativa para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Caragliu, Del Bo e Nijkamp (2011) analisaram o conceito de cidades inteligentes na Europa e identificaram uma série de iniciativas em diversas cidades europeias. Eles destacam que, embora haja diferenças nas abordagens e nas estratégias de implementação, há uma série de características comuns entre as cidades inteligentes.

Giffinger et al. (2007) desenvolveram um ranking das cidades europeias de médio porte com base em sua inteligência urbana. Eles identificaram uma série de dimensões que contribuem para a inteligência urbana, incluindo inovação, qualidade de vida, economia, governança, ambiente e conexões globais.

Nam e Pardo (2011) propõem uma abordagem conceitual para cidades inteligentes, que considera três dimensões: tecnologia, pessoas e instituições. Eles argumentam que a tecnologia é apenas uma parte da equação, e que é preciso levar em conta as necessidades e expectativas das pessoas e a capacidade das instituições para criar e implementar políticas públicas eficazes.

Neirotti et al. (2014) realizaram um estudo sobre as tendências atuais nas iniciativas de cidades inteligentes. Eles identificaram algumas características comuns entre as cidades inteligentes, como o uso intensivo de tecnologias da informação e comunicação, a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos e a busca por soluções sustentáveis.

Esses estudos e outros encontrados na literatura científica demonstram que as cidades inteligentes são um tema complexo e multifacetado, que envolve diversas dimensões e desafios. Para tornar as cidades inteligentes uma realidade, é preciso levar em conta as necessidades e expectativas dos cidadãos, bem como a integração entre as diversas áreas do conhecimento

A robótica surgiu como maneira de automatizar o trabalho humano perigoso e repetitivo presente nas fábricas através do uso de máquinas. Durante os últimos 70 anos, o estudo da robótica teve seu foco na busca pelas soluções técnicas das aplicações da robótica (E. Garcia *et al*, 2007). Com o passar do tempo, a modernização da sociedade trouxe uma nova demanda de serviços, com maior grau de autonomia e robustez, de forma que os robôs agora não são necessários apenas na indústria, mas também na prestação de serviços aos seres humanos. O avanço da robótica, nas suas mais diferentes áreas, acabou aproximando a mesma ao ser humano, através da robótica de serviços e de campo (E. Garcia *et al*, 2007).

Uma das áreas que contribui com desenvolvimento de cidades inteligentes e a robótica, que de acordo com supracitado, avança tecnológico.

Como ramo da ciência da computação, a Inteligência Artificial (IA) busca incutir em

dispositivos eletrônicos capacidades similares ao raciocínio humano, como a análise e a tomada de decisões. Em outras palavras, o objetivo da IA é imitar (talvez, até mesmo superar) a inteligência humana (MAJA J. MATARIC, 2008).

Diferentemente dos primeiros robôs desenvolvidos, utilizados para realizar operações repetitivas, a aplicação de robôs na medicina tem direta relação com o ser humano e tem proporcionado grandes benefícios aos seus pacientes. O uso de robôs em cirurgias possibilita maior precisão ao cirurgião que o opera, evitando movimentos bruscos, proporcionando menor evasão ao paciente, e servindo como uma extensão da limitação humana do cirurgião (A. M. OKAMURA, M. J. MATARIĆ and H. I. CHRISTENSEN, 2010).

Não só dentro das salas de cirurgias, o uso de robôs na medicina faz presente robôs enfermeiros, como no trabalho de J. Pineau *et al* (2003), onde um robô móvel foi desenvolvido para ajudar idosos portadores de pequenas limitações físicas e cognitivas, fornecendo informações e guiando os idosos, auxiliando ainda o trabalho dos enfermeiros.

A robótica móvel, por sua vez, teve início juntamente com a aplicação de robôs nas linhas de produção, sendo utilizados de maneira guiada para o transporte de objetos, através de trajetos pré-definidos dentro das fábricas. Atualmente, os robôs móveis atuam de maneira autônoma, não só dentro de fábricas, mas assim como em ambientes abertos, através da arquitetura: percepção, auto localização, planejamento de trajetória e execução do movimento (E. Garcia *et al*, 2007).

A motivação deste trabalho está formalizar as cidades inteligentes e instanciar uma aplicação tecnológica específica. A qual será realizar o desenvolvimento de um robô capaz de realizar o transporte de pequenas cargas, similares à pequenas malas de viagem, para pessoas acometidas por limitações físicas, como idosos e gestantes, por exemplo, poupando-os do esforço físico. Aplicações de robôs na área de robótica de serviços e robótica assistiva relacionam-se diretamente com este estudo.

Outra possível motivação desse trabalho está na ergonomia. A ergonomia ou engenharia humana é uma ciência relativamente recente que estuda as relações entre o homem e seu ambiente de trabalho e definida pela Organização Internacional do Trabalho - OIT como “A aplicação das ciências biológicas humanas em conjunto com os recursos e técnicas da engenharia para alcançar o ajustamento mútuo, ideal entre o homem e o seu trabalho, e cujos resultados se medem em termos de eficiência humana e bem-estar no trabalho”. Os riscos ergonômicos são os fatores que podem afetar a integridade física ou mental do trabalhador, proporcionando-lhe desconforto ou doença.

São considerados riscos ergonômicos: esforço físico, levantamento de peso, postura inadequada, controle rígido de produtividade, situação de estresse, trabalhos em período noturno, jornada de trabalho prolongada, monotonia e repetitividade, imposição de rotina intensa.

Os riscos ergonômicos podem gerar distúrbios psicológicos e fisiológicos e provocar sérios danos à saúde do trabalhador porque produzem alterações no organismo e estado

emocional, comprometendo sua produtividade, saúde e segurança, tais como: LER/DORT, cansaço físico, dores musculares, hipertensão arterial, alteração do sono, diabetes, doenças nervosas, taquicardia, doenças do aparelho digestivo (gastrite e úlcera), tensão, ansiedade, problemas de coluna etc.

Desse modo, para evitar que estes riscos comprometam as atividades e a saúde do trabalhador, é necessário um ajuste entre as condições de trabalho ou mesmo no caso de transporte de carga em um ambiente comum, e o homem sob os aspectos de praticidade, conforto físico e psíquico por meio de: melhoria no processo de trabalho, melhores condições no local de trabalho, modernização de máquinas e equipamentos, melhoria no relacionamento entre as pessoas, alteração no ritmo de trabalho, ferramentas adequadas, postura adequada, etc. O que se espera auxiliar pessoas com mobilidades e forças reduzidas como por exemplo de mulheres grávidas e idosos possam ter o auxílio de um robô para melhoria ergonômica dele.

Este trabalho está dividido da seguinte forma. Na seção 2 aspectos de desenvolvimento do robô são abordados. Já a seção 3 apresenta aspectos do desenvolvimento do controlador *Fuzzy* e discute resultados ainda que iniciais, bem como aspectos da prototipagem (próxima etapa da pesquisa). E finalmente a seção 4 conclui e sugere futuros trabalhos

2 | DESENVOLVIMENTO

A lógica fuzzy é uma abordagem matemática que lida com a incerteza e a imprecisão nas informações. Na robótica, a lógica fuzzy é usada para tomar decisões em tempo real com base em dados sensoriais do ambiente. Isso permite que os robôs tomem decisões mais inteligentes e precisas, mesmo em situações imprecisas ou complexas.

A lógica fuzzy pode ser aplicada em diversas tarefas de robótica, como navegação autônoma, controle de movimento, classificação de objetos, reconhecimento de padrões, entre outras. Ela é especialmente útil em situações em que as informações sensoriais são incertas ou ambíguas, permitindo que os robôs se adaptem rapidamente a mudanças no ambiente. A lógica fuzzy pode ser implementada em um controlador fuzzy, que é um sistema de controle baseado em regras que usa a lógica fuzzy para tomar decisões. O controlador fuzzy é capaz de processar informações sensoriais em tempo real e gerar saídas precisas para controlar os movimentos do robô.

Em resumo, a lógica fuzzy é uma ferramenta importante na robótica, permitindo que os robôs tomem decisões mais inteligentes e precisas em situações imprecisas ou complexas. Ela pode ser implementada em um controlador fuzzy para processar informações sensoriais e controlar os movimentos do robô em tempo real.

A saída fornecida às rodas do robô poderá ser feita utilizando de lógica multivalorada, ou ainda lógica *Fuzzy*, atentando-se à capacidade computacional do sistema embarcado escolhido. O uso destes controladores facilitará a modelagem do sistema de controle quando

comparado à modelagem matemática necessária para controladores PID, principalmente caso as variáveis de entrada não sejam apenas uma, visto que controladores PID apresentam alta complexidade em sua modelagem para sistemas multivariáveis (SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S., 2007). Um exemplo seria a modelagem utilizando as variáveis distância entre robô e alvo e ângulo entre robô e alvo.

Para identificação do alvo que deve ser seguido, poderá ser utilizado de um sistema análogo ao trabalho de M. N. A. Bakar *et al* (2011), onde foi feito o uso de marcadores para identificação do usuário do robô. Os parâmetros utilizados para identificação do marcador foram cor e formato, apresentando resultados satisfatórios mesmo para condições adversas de iluminação do ambiente.

Posteriormente, deverá ser realizado o desenvolvimento de um sistema de segurança capaz de evitar a colisão do robô com obstáculos que apareçam entre o alvo e o robô, evitando ainda colisões com o próprio usuário. O desvio dos obstáculos poderá ser interpretado de duas formas: na primeira, o robô deverá ser capaz de executar uma manobra de desvio do obstáculo à sua frente, quando o obstáculo se encontrar estático no ambiente. Para obstáculos dinâmicos, o robô deverá apenas esperar o alvo sair de sua frente para seguir em diante; na segunda, o robô deverá manter-se o mais próximo ao usuário possível, evitando com que obstáculos interfiram no espaço robô-usuário, sem comprometer a segurança do usuário.

O sistema embarcado deverá ser capaz de suportar a complexidade computacional do software utilizado. O uso de microcontrolador de baixo custo, como por exemplo o Arduino, proporcionará maior facilidade de implementação, menor custo, porém menor capacidade computacional, enquanto o uso de um computador de aproximada dimensão e maior força computacional, como por exemplo o Raspberry Pi, fornecerá menor facilidade de implementação, maior custo, mas em compensação, maior capacidade computacional do sistema, viabilizando, por exemplo, o uso de um sistema de visão computacional e controle via lógica *Fuzzy* de maneira conjunta.

Os materiais utilizados, desta forma, serão: chassi, duas rodas, uma ou duas rodas bobas, dois motores, um microcontrolador (Arduino) ou um computador (Raspberry Pi), um a três sensores ultrassônicos, uma câmera, uma ponte-h ou dois controladores de corrente alta, *jumpers* variados e fios variados.

Ponta Grossa - Pr

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Simulação

O desenvolvimento da tecnologia tem permitido aprimoramentos na simulação em engenharia, tornando-a cada vez mais precisa e eficiente. A simulação permite a análise de cenários em tempo real, reduzindo custos e tempo de desenvolvimento, além de prever

possíveis falhas e problemas. Com isso, os engenheiros podem testar diferentes soluções e avaliar seu desempenho antes mesmo de implementá-las na prática, garantindo maior segurança e confiabilidade nos projetos

Para validação do modelo de controle a ser aferido ao protótipo foram realizadas simulações de um robô móvel na ferramenta computacional MATLAB. Foram comparadas simulações utilizando controlador *Fuzzy* e controlador através de lógica multivalorada. Para isto, foi feito uso de um controlador *Fuzzy*, utilizado para obtenção dos pulsos enviados às rodas do robô, a partir da distância euclidiana entre robô e alvo. A Tabela 1 apresenta as funções utilizadas como base de regras para o controlador *Fuzzy* desenvolvido, sendo h_i a distância euclidiana entre robô e alvo, e a const o acréscimo dado ao pulso enviado às rodas do robô. A Figura 1 mostra a estrutura do sistema *Fuzzy*. A Figura 2, por sua vez, apresenta a superfície gerada pelo controlador *Fuzzy* desenvolvido.

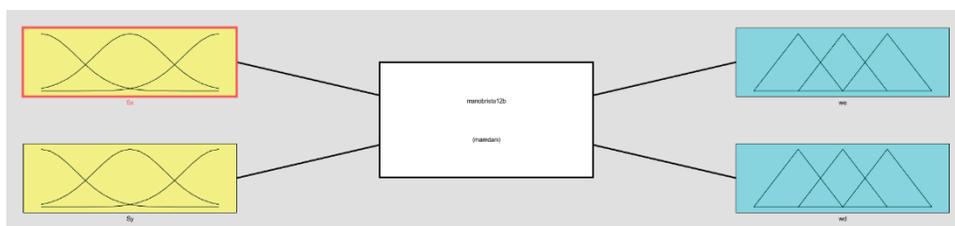


Figura 1: Estrutura do sistema *Fuzzy*.

Fonte: Autores, 2023.

Nessa figura é possível identificar as variáveis *Fuzzy* de entrada e saída, as entradas são a priori a distância da pessoa, e as saídas os pulsos nas rodas do modelo cinemático, e a posteriori do protótipo.

O robô inicia na origem do plano cartesiano, enquanto o alvo, por sua vez, inicia na posição [15,15] do plano. Conforme o robô se aproxima do alvo, esta passa a se distanciar do robô, tendo sua posição horizontal e vertical alterada

-
1. Se (h_i é perto) então (const é pouco)
 2. Se (h_i é médio) então (const é médio)
 3. Se (h_i é médio_longe) então (const é médio_muito)
 4. Se (h_i é longe) então (const é médio)
-

Tabela 1: Base de regras do controlador *Fuzzy*

A Figura 3.a apresenta o resultado obtido da primeira simulação do robô móvel. A Figura 3.b, por sua vez, apresenta o resultado obtido da segunda simulação. O robô é exibido pela figura amarela, enquanto o alvo é representado pela estrela vermelha. O

trajeto realizado pelo robô é a linha preta presente no gráfico, a estrela azul, por sua vez, é a posição inicial do robô móvel.

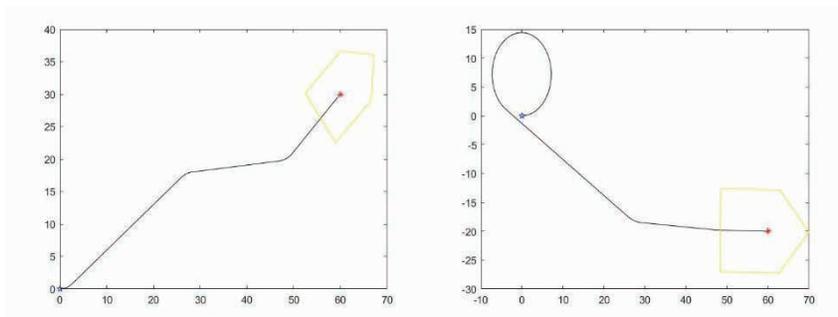


Figura 3 a, b: Simulação do robô móvel.

Os resultados obtidos, ainda que iniciais, apresentaram resultado satisfatório para a realização da perseguição de alvo. Para pequenos valores de erro estipulados, a complexidade computacional não foi comprometida.

4 | CONCLUSÃO

Neste artigo, foi proposto uma fundamentação e alguns exemplos de cidades inteligentes. Com uma instanciação teórica de um desenvolvimento de um robô capaz de realizar o transporte de carga de maneira autônoma. Em tese a prototipação deverá empregar a combinação do uso de uma câmera e sensores ultrassônicos se mostrou eficaz na identificação do alvo, o protótipo, por sua vez, mostrou ser capaz de responder aos comandos de controle necessários para a perseguição.

Os resultados simulados experimentais, ainda que iniciais, mostram-se promissores, sendo cogitado para trabalhos futuros, a implementação de sistemas embarcados, como por exemplo em Arduino. para melhorar a robustez da proposta.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento à Fundação Araucária pela bolsa de iniciação científica concedida ao segundo autor deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Alawadhi, S. A., & Dwivedi, A. K. (2018). Investigating the impact of social media on brand awareness: Evidence from Kuwait. *Telematics and Informatics*, 35(4), 1152-1162.

- Bakar, M. N. A., Nagarajan, R., & Saad, A. R. M. (2011). Development of a doctor following mobile robot with Mono-vision based marker detection. In 2011 IEEE Applied Power Electronics Colloquium (IAPEC) (pp. 86-91). IEEE.
- Bibri, S. E., & Krogstie, J. (2017). Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. *Sustainable Cities and Society*, 31, 183-212.
- Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart cities in Europe. *Journal of urban technology*, 18(2), 65-82.
- Garcia, E.; Jimenez, M. A.; De Santos, P. G.; Armada, M. The evolution of robotics research. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, v. 14, n. 1, p. 90-103, mar. 2007.
- Mataric, Maja J. The robotics primer. *Choice Reviews Online*, v. 45, n. 06, p. 45-3222-45-3222, 1 fev. 2008.
- Mendonça, M. et al. "Multi-robot exploration using Dynamic Fuzzy Cognitive Maps and Ant Colony Optimization." In *IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Proceedings, Glasgow, UK, 2020*. IEEE.
- Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In *Proceedings of the 12th annual international digital government research conference: digital government innovation in challenging times* (pp. 282-291).
- Neirotti, P., Raguseo, E., & Paolucci, E. (2014). Internet of things: a review of literature and products. In *International Conference on Business Information Systems* (pp. 1-22). Springer, Cham.
- Oda, Leila, Ávila, Suzana et al. *Biossegurança em Laboratórios de Saúde Pública*. Brasília. Ministério da Saúde, 1998.
- Okamura, A. M., Mataric, M. J., & Christensen, H. I. (2010). Medical and Health-Care Robotics. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 17(3), 26-37.
- Pineau, J., Montemerlo, M., Pollack, M., Roy, N., & Thrun, S. (2003). Towards robotic assistants in nursing homes: challenges and results. *Robotics and Autonomous Systems*, 42, 271-281.
- Simões, M. G. & Shaw, I. S. (2007). *Controle e Modelagem Fuzzy*. 2ª ed. São Paulo: Blücher.

SÍNTESE DA CAULINITA PIROFOSFATO PARA INTERCALAÇÃO DE VITAMINA B1 VISANDO APLICAÇÃO COMO SUPLEMENTO VITAMÍNICO

Data de aceite: 02/05/2023

Andriéli Corrêa de Aquino

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, LIMAN.
Naviraí – MS

Cintia Hisano

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, LIMAN.
Naviraí – MS

Graciele Vieira Barbosa

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, LIMAN.
Naviraí – MS

Alberto Adriano Cavalheiro

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, LIMAN.
Naviraí – MS

para aumento da biodisponibilidade de tiamina associada ao pirofosfato. A argila precursora foi obtida pelo método da coprecipitação e purificada por controle de medidas multiparâmetros e depois submetida a um processo de fixação do grupo pirofosfato na matriz antes executar a intercalação de tiamina, o princípio ativo da vitamina B1. Todos os intermediários foram caracterizados por espectroscopia no infravermelho, de modo a entender como o grupo pirofosfato e também a molécula de tiamina são ancorados na matriz da caulinita pirofosfato. Foi observado que o grupo pirofosfato se ancora predominantemente na superfície da rede de tetraedros de silicato da estrutura caulinita e que a tiamina é ancorada através dos grupos amina de sua molécula.

PALAVRAS-CHAVE: Argila sintética, caulinita, pirofosfato, tiamina.

RESUMO: O desenvolvimento de argilas sintéticas puras e com controle composicional para aplicações como matrizes para intercalação de fármacos, como as vitaminas hidrossolúveis atende uma demanda por novos produtos farmacêuticos de alto desempenho. Neste trabalho, foi investigado um procedimento de intercalação de vitamina B1 em uma matriz de argila sintética de caulinita pirofosfato

SYNTHESIS OF PYROPHOSPHATE KAOLINITE FOR INTERCALATION OF VITAMIN B1 AIMING FOR APPLICATION AS A VITAMIN SUPPLEMENT

ABSTRACT: The development of pure synthetic clays with compositional control

for applications such as matrices for drug intercalation, such as water-soluble vitamins, meets a demand for new high-performance pharmaceutical products. In this work, a procedure of intercalation of vitamin B1 in a synthetic clay matrix of pyrophosphate kaolinite was investigated to increase the bioavailability of thiamine associated with pyrophosphate. The precursor clay was obtained by the coprecipitation method and purified by controlling multiparameter measurements and then subjected to a process of fixation of the pyrophosphate group in the matrix before executing the intercalation of thiamine, the active principle of vitamin B1. All intermediates were characterized by infrared spectroscopy, in order to understand how the pyrophosphate group and also the thiamine molecule are anchored in the kaolinite pyrophosphate matrix. It was observed that pyrophosphate group is anchored predominantly on the surface of the silicate tetrahedra network of the kaolinite structure and that thiamine is anchored through the amine groups of its molecule.

KEYWORDS: Synthetic clay, kaolinite, pyrophosphate, thiamine.

1 | INTRODUÇÃO

Muitos recursos naturais tendem a se esgotar em um futuro não muito distante, o que tem impulsionado muitas pesquisas na busca de fontes alternativas e renováveis, com especial preocupação com o esgotamento de alguns minérios e argilas. Muitos depósitos de argilas nas margens de córregos e rios se apresentam contaminados, mas a agricultura e a pecuária extensiva também contribuem para este quadro. Os principais depósitos de argila no mundo estão em regiões subdesenvolvidas, como América do Sul, África Central e Índia, geralmente sem leis ambientais rígidas (SANTOS, 1992; TEIXEIRA-NETO & TEIXEIRA-NETO, 2009).

Muitas argilas naturais apresentam contaminantes que inviabilizam o uso como matéria-prima de cosméticos (KION, 2023; VEEGUM, 2023), elementos filtrantes e aditivos de preenchimento em alguns tipos de produtos ou outras aplicações em que a variação composicional é um fator limitante para aplicação em escala, como em matrizes para intercalação de fármacos e outros princípios ativos de interesse (FARAMAWY *et al.*, 2016; ZHOU *et al.*, 2018).

As argilas de filossilicato vêm se mostrando promissoras para formulação de fármacos de liberação controlada, dentro do conceito de “drug delivery”, especialmente aqueles de posologia oral ou de uso tópico. As argilas sintéticas ainda possuem a vantagem de poderem ser modificadas para conferir propriedades diferenciadas das argilas naturais, como a adição de algum componente da matriz argilosa em sinergia com o metabolismo do fármaco intercalado (TAMURA *et al.*, 2006; PERIOLI *et al.*, 2011).

As principais características químicas dos materiais adsorventes aplicados como matrizes para fármacos são a morfologia e estrutura em camadas, como nos filossilicatos, mas também a afinidade química de sua superfície com grupos funcionais específicos das moléculas dos princípios ativos a serem intercalados. Diversas vitaminas possuem

afinidade química com o espaço intercamadas dos filossilicatos, entre elas as vitaminas hidrossolúveis, como a vitamina C e as do complexo B (GROPPER & SMITH, 2012; RUBERT, *et al.*, 2017).

E uma destas vitaminas é de especial interesse para formulação de suplementos, a vitamina B1, cada vez menos disponível no organismo devido ao aumento do consumo de alimentos processados e pobre em cereais não beneficiados. E isso porque a tiamina, o princípio ativo da vitamina B1, só é encontrada em altos teores nas cascas destes cereais e os sintomas de sua carência só se manifesta depois de longos períodos de carência. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi desenvolver procedimentos experimentais de obtenção da argila de caulinita pirofosfato intercalada com tiamina visando obter um biomaterial para posterior estudo como suplemento vitamínico de liberação controlada de vitamina B1.

2 | METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Os reagentes utilizados para a síntese das amostras foram metassilicato de sódio hidratado $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (Dinâmica), nitrato de alumínio nonahidratado $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (Dinâmica), hidróxido de sódio NaOH (Neon), hidrogenofosfato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (J. T. Baker) e cloridrato de tiamina $\text{C}_{12}\text{H}_{17}\text{ClN}_4\text{OS} \cdot \text{HCl}$ (Êxodo Científica). O ajuste de pH foi feito com ácido nítrico 65 % HNO_3 (VETEC) e os processos de dissolução e diluição de reagentes, bem como a purificação da argila, com água destilada obtida de um destilador do tipo Pilsen, apresentando condutividade iônica variando de 5 a 30 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Os resíduos gerados nos procedimentos foram armazenados em recipientes apropriados, sendo destinados a tratamento adequado antes do descarte final.

Visando observar as variações das características da argila precursora até a intercalação final da amostra de Caulinita Pirofosfato com Tiamina, amostras intermediárias também foram caracterizadas, incluindo amostras não fosfatadas para comparação. A relação das amostras, com suas composições nominais e condições de obtenção é mostrada na Tabela 1.

Amostra	Descrição	Composição nominal	Condição de Obtenção
CH	Caulinita Hidroxilada	$\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	Precipitação, digestão, purificação, secagem a 100 °C e trituração.
CF	Caulinita Fosfatada	$\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_4(\text{HPO}_4)_2$	Adição de hidrogenofosfato de amônio na amostra CH, secagem a 150 °C e trituração.
CS	Caulinita Seca	$\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	Amostra CH sem adição de hidrogenofosfato de amônio e processada como a amostra CF.
CP	Caulinita Pirofosfato	$\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_4\text{P}_2\text{O}_7$	Tratamento térmico da amostra CF a 450 °C e trituração.
CC	Caulinita Calcinada	$\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{12}(\text{OH})_4$	Tratamento térmico da amostra CS a 450 °C e trituração.

CPT	Caulinita Pirofosfato + Tiamina	$Al_4Si_4O_{11}(OH)_3P_2O_7 + C_{12}H_{17}N_4OS$	Suspensão aquosa da amostra CP em solução de Cloridrato de Tiamina e secagem a 60 °C.
-----	---------------------------------------	--	---

Tabela 1: Descrição das amostras de argila desde a argila precursora até o material final de caulinita pirofosfato intercalada com tiamina.

O procedimento de obtenção da argila precursora teve início com a padronização por gravimetria do metassilicato de sódio hidratado, pois o controle da razão entre silício e alumínio depende da aferição do grau de hidratação exato deste reagente. O procedimento foi conduzido usando parâmetros de calcinação capazes de produzir o silicato de sódio Na_2SiO_3 , cuja massa final calcinada é usada para obter o título percentual em relação a massa de reagente hidratado $Na_2SiO_3 \cdot xH_2O$.

O procedimento foi feito em triplicata, usando cadinhos de porcelana para calcinar as amostras a 550 °C por 2 h, com taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹ e resfriamento livre (HAYNES et al., 2015). Os dados foram usados para obter um valor médio de título percentual, permitindo corrigir a massa de reagente metassilicato de sódio hidratado e obter a composição nominal de caulinita $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$, após purificação e secagem a 100 °C. Assim, a argila precursora foi obtida por coprecipitação rápida usando soluções de nitrato de alumínio III nonahidratado e de metassilicato de sódio hidratado. As massas de cada reagente foram pesadas com base em cálculos estequiométricos e dissolvidas em 200 mL de água destilada, antes de serem adicionadas simultaneamente em um béquer reacional de 1 L contendo 200 mL de solução de hidróxido de sódio em quantidade calculada para obter a argila precursora $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$, mantendo a solução em vigorosa agitação durante toda a coprecipitação, que durou em torno de 20 s (Figura 1.a).

O volume foi aumentado para 800 mL com água destilada e o pH ajustado para 10 com ácido nítrico 65 % antes de aquecer a suspensão a 80 °C e manter por 2 h em agitação. Após resfriamento (Figura 1.b) e sedimentação por 24 h (Figura 1.c), a amostra foi purificada em dois estágios por filtração em funil de Buchner com bomba de vácuo e lavagem com porções de 500 mL de água destilada, com controle multiparâmetros de pH e condutividade iônica dos filtrados, com um aparelho da marca AKSO, modelo AK151.

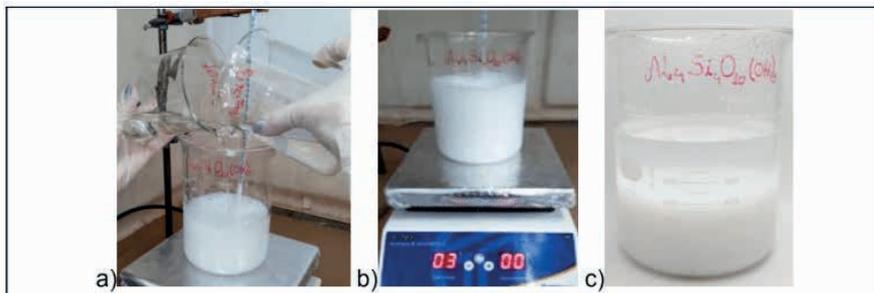


Figura 1: Obtenção da argila precursora: a) adição das soluções aquosas de metassilicato de sódio e nitrato de alumínio em solução de NaOH, b) digestão a 80 °C por 2 h e c) sedimentação em temperatura ambiente por 24 h.

No primeiro estágio, o precipitado foi lavado por dois ciclos e depois retornado à digestão nas mesmas condições anteriores e sedimentação de modo similar ao anterior, seguindo o processo de purificação com porções de 500 mL de água destilada até que os valores de condutividade iônica se mantivessem constantes. Por fim, o precipitado foi drenado (Figura 2.a) e seco em estufa a 80 °C por 24 h ainda no papel filtro, desimpregnado e transferido para um almofariz de porcelana (Figura 2.b), onde foi desagregado (Figura 2.c) e transferido a um béquer para secagem em estufa a 100 °C por 24 h (Figura 2.d), obtendo-se a amostra de Caulinita Hidroxilada (CH).

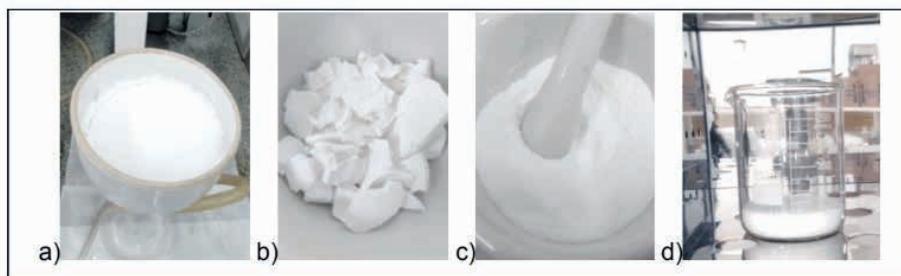


Figura 2: Purificação da argila precursora: a) lavagem com água destilada e drenagem, b) aglomerados secos a 80 °C por 24 h, c) argila triturada e d) amostra de Caulinita Hidroxilada (CH) após secagem a 100 °C por 24 h.

Para obtenção da amostra de Caulinita Fosfatada (CF), a amostra CH foi acrescida de solução de hidrogenofosfato de amônio em razão de 2 mols de hidrogenofosfato para 1 mol de caulinita (Figura 3.a). A pasta formada foi seca a 150 °C por 24 h (Figura 3.b) e triturada em almofariz (Figura 3.c). A amostra CP foi obtida calcinando-se a amostra CF a 450 °C por 2 h (Figura 3.d), obtendo-se a amostra de Caulinita Pirofosfato (CP). Procedimento similar foi executado com uma alíquota da amostra CH sem adição de hidrogenofosfato de amônio, obtendo a amostra de Caulinita Seca (CS) e de Caulinita

Calcinada (CC), para entender os efeitos do processamento.

Por fim, a intercalação de caulinita pirofosfato (CP) foi conduzida pesando-se uma alíquota da amostra CP e adicionando-se solução de dicloridrato de tiamina com quantidade equimolar em relação à argila. O volume da suspensão foi ajustado para 150 mL e agitado por 1 h antes da evaporação da água em estufa a 60 °C por 24 h (Figura 3.e), sendo o material seco triturado em almofariz (Figura 3.f) para obtenção da amostra CPT.

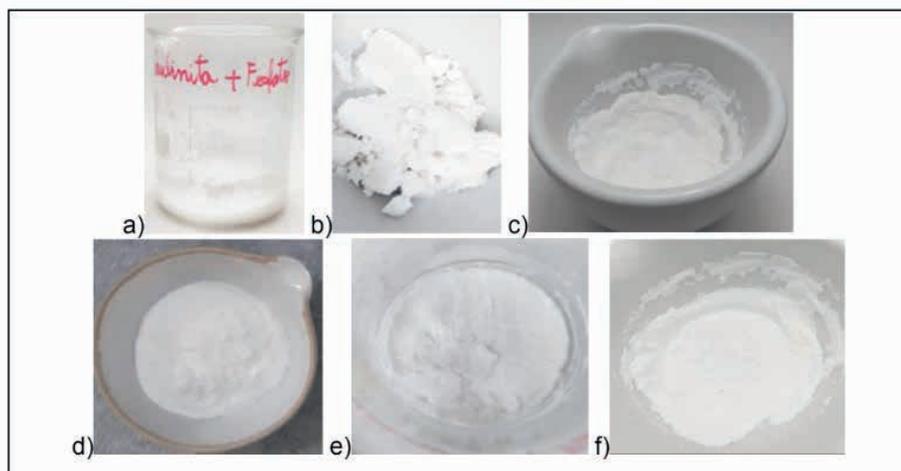


Figura 3: Pirofosfatação e Intercalação com Tiamina: a) mistura da amostra CH com hidrogenofosfato, b) secagem a 150 °C (amostra CF), c) trituração da amostra CF, d) calcinação a 450 °C (amostra CP), e) mistura CP e tiamina após secagem a 60 °C (amostra CPT) e f) trituração final da amostra CPT.

As alterações causadas pela adição de hidrogenofosfato, processamentos e tratamentos térmicos, além da forma de ancoragem da tiamina na matriz de argila foram investigadas por caracterização por espectroscopia no infravermelho médio. Foi usado um equipamento da *Thermo Scientific*TM, modelo Nicolet iS50, com acessório de Refletância Total Atenuada e cristal de germânio como elemento de reflexão interna, um detector DTGS e um divisor de feixes de KBr. As análises foram realizadas com uma resolução de 4 cm⁻¹, acumulando 64 varreduras na faixa de 3800 a 670 cm⁻¹.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 4 são apresentadas as curvas multiparâmetros do processo de purificação. Observou-se que os valores de pH para os filtrados do primeiro ciclo (Figura 4.a) se apresentam mais ácidos do que a suspensão de recristalização, que teve o pH ajustado para 10. Isso indica uma troca iônica durante a recristalização, incorporando cátions de Na⁺ e liberando próton H⁺ (SHAW, 1975). Após o segundo ciclo de recristalização, que ocorre depois da remoção do excesso de hidróxido de sódio e nitrato de sódio gerados

como subprodutos da precipitação, o pH dos filtrados sobe para um patamar entre 9,5 e 10, característico do produto de solubilidade da caulinita purificada.

Na Figura 4.b é mostrada a variação da condutividade iônica para os filtrados. Apesar de aparentar pequena variação, o eixo das ordenadas está em escala logarítmica, o que denota um processo de lavagem efetivo. Assim, a condutividade iônica inicial diminui de 30.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para 2.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ no primeiro ciclo de lavagem, caindo para abaixo de 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$ até o quinto ciclo e para 25 $\mu\text{S cm}^{-1}$ no oitavo e último ciclo. Como a condutividade tende a se estabilizar neste patamar superior ao da água destilada usada no processo, constata-se que o precipitado tende a lixiviar com lavagens excedentes.

Esta amostra purificada e seca a 100 °C por 24 h, denominada amostra CH, foi caracterizada por espectroscopia no infravermelho e comparada com a amostra de caulinita fosfatada seca a 150 °C, denominada amostra CF (Figura 5.a). Esta mesma amostra também foi comparada a amostra reidratada e seca a 150°C, denominada amostra CS (Figura 5.b.).

Os espectros são apresentados seccionados para facilitar a identificação das bandas e suas alterações entre as amostras. As bandas foram identificadas com base em trabalhos da literatura (PADMAJA *et al.*, 2001; VASCONCELOS *et al.*, 2012). As bandas em números de onda maiores (acima de 3000 cm^{-1}) são atribuídas ao grupo hidroxila, com dois tipos de estiramentos O-H, um localizado em 3400 cm^{-1} , atribuído ao grupo OH da água e outro, em 3230 cm^{-1} , atribuído ao grupo O-H de hidróxidos metálicos de superfície. A terceira banda em 3060 cm^{-1} é atribuída à deformação O-H do tipo torção fora do plano e ocorre associada aos estiramentos mencionados acima.

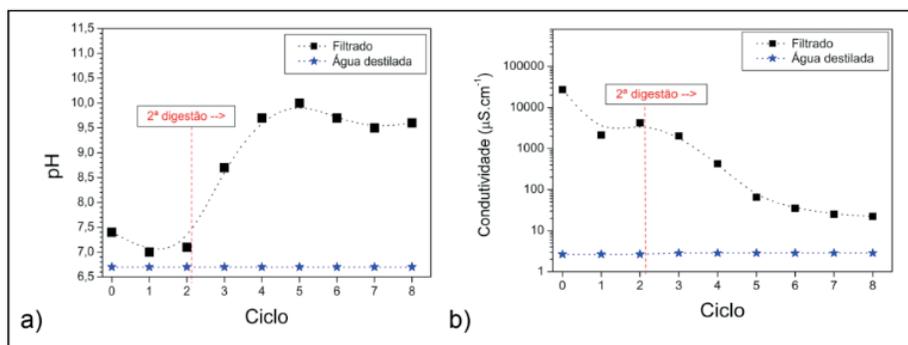


Figura 4: Parâmetros físico-químicos dos filtrados durante a lavagem do precipitado de caulinita: a) pH e b) condutividade elétrica.

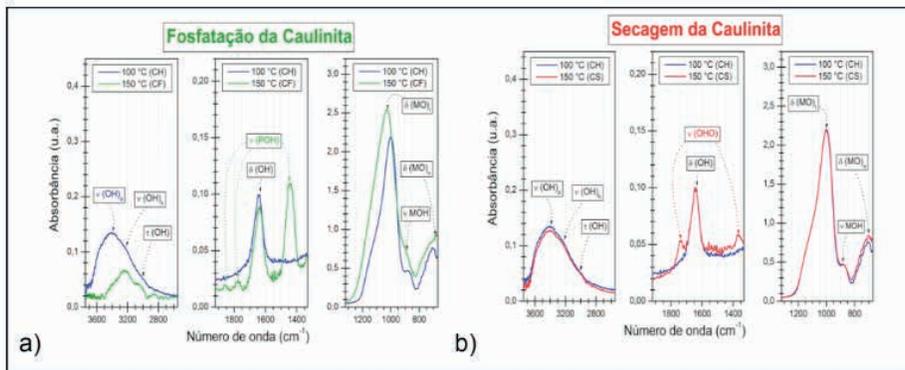


Figura 5: Espectros no infravermelho seccionados da amostra CH comparada às amostras: a) CF e b) CS.

Na Figura 5.a são mostrados os espectros de infravermelho das amostras CH e CF, para observar o efeito da fosfatação da caulinita. É possível observar que depois da fosfatação e secagem a 150 °C, a banda associada à água de hidratação $\nu(\text{OH})_a$ em 3400 cm^{-1} tem sua intensidade bastante reduzida, indicando perda de água. Enquanto isso, a banda associada aos hidróxidos metálicos de superfície $\nu(\text{OH})_n$ em 3230 cm^{-1} e a banda de deformação O-H do tipo torsão fora do plano $\tau(\text{OH})$ em 3060 cm^{-1} sofrem reduções menores de intensidade.

Na região intermediária do espectro, aparecem bandas associadas ao grupo hidrogenofosfato $\nu(\text{POH})$ para a amostra CF, em especial, a banda em 1440 cm^{-1} , bem mais intensa. A banda associada à deformação O-H em hidróxidos metálicos $\delta(\text{OH})$ em 1650 cm^{-1} sofre pequena redução de intensidade, indicando algum tipo de interação com a matriz de caulinita.

Já na região de menor número de onda (abaixo de 1300 cm^{-1}) aparecem três bandas associadas à estrutura em camadas de aluminossilicatos hidroxilados, com dois tipos de deformação da ligação metal-oxigênio. Uma delas, a mais energética está situada em 1000 cm^{-1} e é atribuída à deformação M-O em tetraedros. A de menor energia, situada em 710 cm^{-1} , é atribuída à deformação M-O em octaedros. Já a banda em 870 cm^{-1} é atribuída ao estiramento M-OH de superfície em hidróxidos metálicos.

Como estas bandas ficam mais intensas e alargadas com a fosfatação, é provável que as subcamadas de tetraedros e octaedros estejam afetadas pela presença de fosfato, mas a banda associada à deformação M-O em tetraedros em 1000 cm^{-1} parece ser bem mais afetada que a banda de deformação M-O em octaedros em 710 cm^{-1} e também que a banda de estiramento M-OH de superfície em 870 cm^{-1} .

Na Figura 5.b são mostrados os espectros de infravermelho das amostras CH e CS, para observar o efeito do aumento da temperatura, sem o efeito da fosfatação. É possível observar que não há alteração significativa das bandas de hidroxila, evidenciando que o

efeito observado entre as amostras CH e CF se deve à presença de fosfato na estrutura. No entanto, é possível observar na região intermediária do espectro da amostra CS o aparecimento de duas bandas de estiramentos O-H-O em ligação de hidrogênio $\nu(\text{OHO})$ em 1740 e 1360 cm^{-1} , inexistentes nas amostras CH e CF.

Na região de menor número de onda, apenas a banda em 710 cm^{-1} , associada à deformação M-O em octaedros é atribuída sofre pequena alteração, indicando que a desidratação aumenta a interação dos grupos hidroxilas da subcamada de octaedros de alumínio para ancoragem intercadas. Com isso, podemos supor que a ancoragem da caulinita seca através de ligações de hidrogênio dos grupos hidroxilas de superfície é substituída pelo hidrogenofosfato na amostra CF.

Quando ambas as amostras CF e CS são calinadas a 450 °C , também é possível observar o efeito do pirofosfato na caulinita (amostra CP), como mostrado pelos espectros comparativos da Figura 6.

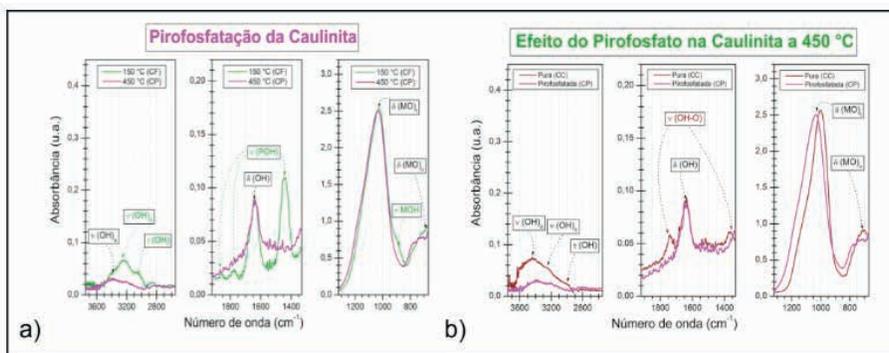


Figura 6: Espectros no infravermelho seccionados da amostra CP comparada às amostras: a) CF e b) CC.

Na região de maior número de onda, observa-se uma perda de intensidade significativa nas bandas de hidroxila para a amostra CP, quando comparada a amostra CF (Figura 6.a). Na região intermediária, observa-se o desaparecimento da banda de hidrogenofosfato $\nu(\text{POH})$ em 1440 cm^{-1} para a amostra CP, confirmando que o processo de pirofosfatação ocorreu, uma vez que o grupo pirofosfato não possui grupo hidroxila associado, que origina esta banda, como no hidrogenofosfato. Em menor número de onda, observa-se que a deformação M-O em octaedros de alumínio em 710 cm^{-1} sofre alargamento e a banda de estiramento M-OH de superfície em 870 cm^{-1} desaparece, indicando forte desidroxilação do material. Por outro lado, a banda de deformação M-O de octaedros de silício em 1000 cm^{-1} , essencialmente não hidroxilada, não sofre alteração neste processo.

Na Figura 6.b são mostrados os espectros comparativos das amostras CC e CP, buscando evidenciar a influencia do pirofosfato na caulinita sem influencia da temperatura,

já que ambas as amostras foram tratadas a 450 °C. É interessante notar que mesmo calcinada a 450 °C, a amostra CC apresenta bandas de hidroxila na região de maior número de onda.

Quando se consideram as bandas de ligação de hidrogênio $\nu(\text{OHO})$ em 1740 e 1360 cm^{-1} na amostra CC, pode-se inferir que parte das hidroxilas da subcamada de octaedros é preservada, por estar estabilizada por ancoragem intercadas. Por este mesmo motivo, a banda de deformação $\delta(\text{OH})$ em 1650 cm^{-1} não se altera. Já na região de menor número de onda, é possível notar que as bandas de deformação M-O sofrem alargamentos, tanto para a banda de tetraedros em 1000 cm^{-1} , como a de octaedros em 710 cm^{-1} , além de não aparecer a banda em 870 cm^{-1} . Mas, o efeito mais pronunciado ocorre para a banda em 1000 cm^{-1} , com deslocamento para maior energia, indicando que o grupo pirofosfato se ancora nesta subcamada.

A amostra de Caulinita Pirofosfato (CP) submetida à intercalação com tiamina, denominada amostra CPT, também foi caracterizada por espectroscopia no infravermelho. Os espectros das amostras CP e CPT são mostrados na Figura 7, juntamente com o espectro do precursor de cloridrato de tiamina usado no processo de intercalação.

O espectro de infravermelho da molécula de tiamina possui grande número de bandas e sobreposições devido à vários grupos funcionais, com um anel pirimidínico contendo grupos metila, amina primária e secundária e também um anel tiazol contendo uma cadeia alifática com um grupo álcool. Além disso, na forma de cloridrato, o espectro sofre várias alterações nas posições e sobreposições das bandas (NUGRAHANI & KARTINI, 2016), dificultando a identificação das bandas com base em tabelas genéricas de grupos funcionais (SOCRATES, 1994; SILVERSTEIN *et al.*, 2000). Deste modo, os espectros são discutidos através das diferenças entre as amostras CP e CPT, com base em bandas mais evidentes do cloridrato de tiamina.

Nas regiões de maior número de onda e intermediária, é possível observar que a contribuição das bandas de absorção da tiamina é mais pronunciada. Como a amostra CPT apresenta bandas similares a do cloridrato de tiamina, ao contrário da amostra CP, fica comprovada a efetividade da intercalação da tiamina na matriz de caulinita pirofosfato. Mas, as bandas de estiramento N-H mostram grandes alterações, quando se comparam os espectros da amostra CPT com o do precursor de cloridrato de tiamina, indicando fortes interações da tiamina com a matriz de caulinita pirofosfato.

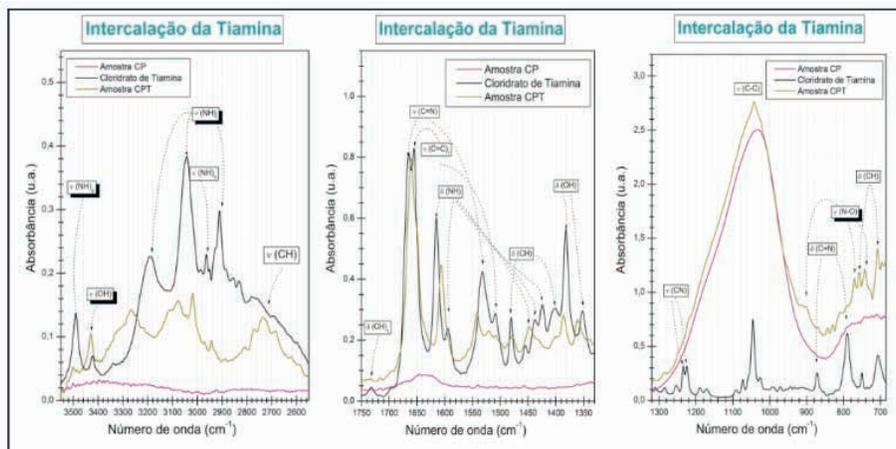


Figura 7: Espectros no infravermelho seccionados comparativos para as amostras CP e CPT e do precursor de cloridrato de tiamina.

Ao observar a região entre 1630 e 1580 cm^{-1} , observa-se que um duplete atribuído a deformações da ligação N-H no espectro do cloridrato de tiamina, aparece como uma única banda na amostra CPT, indicando haver interação dos grupos amina na ancoragem. Mas, outras partes da molécula parecem também serem afetadas pela ancoragem, uma vez que as bandas de estiramentos C=C e C=N do cloridrato de tiamina também são alterados na amostra CPT, indicando que os anéis são afetados por efeito de ressonância.

Já na região de baixa energia, predomina as bandas de absorção da caulinita pirofosfato, mas há o surgimento de bandas de estiramento N-O, em torno de 900 cm^{-1} , e também entre 800 e 750 cm^{-1} , os quais são ausentes tanto na amostra CP como no precursor de cloridrato de tiamina. Isso demonstra que a intercalação da tiamina na caulinita pirofosfato envolve o aparecimento de interações entre o nitrogênio dos grupos amina com o oxigênio de superfície, principalmente da subcamada de tetraedros de silício, mas também pode haver interações com o oxigênio do grupo pirofosfato da caulinita.

Considerando a importância de desenvolver suplementos de vitamina B1 de liberação controlada de alto desempenho e também que o metabolismo desta vitamina está associado à presença de pirofosfato, os resultados deste trabalho mostram que há grande potencial de desenvolvimento deste tipo de suplemento, demandando mais estudos sobre este tipo de material, em especial quanto aos mecanismos de dessorção em fluido gástrico simulado, permitindo avançar para um estágio posterior de ensaios clínicos.

4 | SUPORTE FINANCEIRO E AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FUNDECT e CNPq, pelo apoio financeiro e a CAPES e PIBAP-UEMS, bolsas de pesquisa concedidas.

REFERÊNCIAS

FARAMAWY, S.; EL-NAGGAR, A. Y.; EL-FADLY, A. M.; EL-SABAGH, S. M.; IBRAHIM, A. A. Silica, alumina and aluminosilicates as solid stationary phases in gas chromatography. **Arabian Journal of Chemistry**, V. 9, n. 1, p. S765-S775, 2016.

GROPPER, S. S.; SMITH, J. L. **Advanced Nutrition and Human Metabolism**. 6a ed. USA: Wadsworth, 2012. 586 p.

HAYNES, W. N.; LIDE, D. R.; BRUNO, T. J. **Handbook of Chemistry and Physics**, 95 th ed. Boca Raton, FL. United States of America, CRC Press, 2015.

KION. Kion Cosmetics. Disponível em: <www.kioncosmetics.com>. Acesso em 10/02/2022.

NUGRAHANI, I.; KARTINI, C. Determination of Thiamine HCl (Vitamin B1) and Pyridoxine HCl (Vitamin B6) Content in Tablet by FTIR. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v. 8, n. 10, p. 257-264, 2016.

PADMAJA, P.; ANILKUMAR, G. M.; MUKUNDAN, P.; ARULDHAS, G.; WARRIER, K. G. K. Characterisation of stoichiometric sol-gel mullite by fourier transform infrared spectroscopy. **Int. J. Inorg. Mater.**, v.3, n.7, p. 693-698, 2001.

PERIOLI, L.; POSATI, T.; NOCCHETTI, M.; BELLEZZA, F.; COSTANTINO, U.; CIPICIANI, A. Intercalation and release of antiinflammatory drug diclofenac into nanosized ZnAl hydrotalcite-like compound. **Applied Clay Science**. v. 53, n.3, p. 374-378, 2011.

RUBERT, A; ENGEL, B; ROHLFES, A. L. B; MARQUARDT, L; BACCAR, N. M. Vitaminas do complexo B: uma breve revisão. **Revista Jovens Pesquisadores**, v. 7, n. 1, p. 30-45, 2017.

SANTOS, P. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. 3a. Ed. Edgar Blücher, São Paulo-SP, 1992.

SHAW, D. J. **Introdução à Química dos coloides e de superfície**. São Paulo: **Edgard** Blucher, 1975.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

SOCRATES, G. **Infrared characteristic group frequencies: tables and charts**. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1994.

TAMURA, H.; CHIBA, J.; ITO, M.; TAKEDA, T.; KIKKAWA, S.; MAWATARI, Y.; TABATA, M. Formation of hydrotalcite in aqueous solutions and intercalation of ATP by anion exchange. **Journal of Colloid Interface Science**. v. 15, n. 300, p. 648-654, 2006.

TEIXEIRA-NETO, E.; TEIXEIRA-NETO, A. A. Modificação química de argilas: desafios científicos e tecnológicos para obtenção de novos produtos com maior valor agregado. **Química Nova**, V. 32, n. 3, p. 809-817, 2009.

VASCONCELOS, D. C. L; NUNES, E. H. M.; VASCONCELOS, W. L. AES and FTIR characterization of sol-gel alumina films. **Journal of Non-Crystalline Solids**, v. 358, n. 11, p. 1374-1379, 2012.

VEEGUM. **Magnesium Aluminum Silicate**. Disponível em: <www.vanderbiltminerals.com/products/veegum-ez>. Acesso em 10/02/2023.

ZHOU, Y.; QUAN, G.; WU, Q.; ZHANG, X.; NIU, B.; WU, B.; HUANG, Y.; PAN, X.; WUA, C. Mesoporous silica nanoparticles for drug and gene delivery. **Acta Pharmaceutica Sinica B**. v. 8, n. 2, p. 165-177, 2018.

TECNOLOGIA SUPERCRÍTICA APLICADA A EXTRAÇÃO DE PRODUTOS NATURAIS

Data de submissão: 28/02/2023

Data de aceite: 02/05/2023

Kelly Roberta Pinheiro Pantoja

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Laboratório de Tecnologia Supercrítica Belém, Pará
<http://lattes.cnpq.br/0213551418048600>

Diana das Graças de Oliveira Henriques

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Laboratório de extração Belém, Pará
<http://lattes.cnpq.br/5085238190871544>

Veronica Maria Souza Bezerra

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Laboratório de extração Belém, Pará
<http://lattes.cnpq.br/6876033155554194>

Rayelle Mendonça Moraes

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Laboratório de extração Belém, Pará
<https://lattes.cnpq.br/6664411108133486>

Nayara Janaina Neves da Silva

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Laboratório de extração Belém, Pará
<http://lattes.cnpq.br/1502494518329485>

Eduardo Gama Ortiz Menezes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Departamento de Engenharia Química, Laboratório de Engenharia Química Porto Velho, Rondônia
<http://lattes.cnpq.br/5269983873909181>

Raul Nunes de Carvalho Junior

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Laboratório de Tecnologia Supercrítica Belém, Pará
<http://lattes.cnpq.br/5544305606838748>

RESUMO: A tecnologia supercrítica é uma tecnologia verde, que dispensa o uso de solventes tóxicos e prejudiciais ao meio ambiente. Neste trabalho, observou-se que a tecnologia consegue ser seletiva ao concentrar os compostos de interesse gerando extratos com altíssima qualidade,

ricos em bioativos como os flavonoides, betacarotenos, polissacarídeos e ácidos graxos. As matrizes vegetais têm suas partes aproveitadas quase integralmente. Nota-se ainda que fatores como localidade e condições operacionais são parâmetros que devem ser avaliados para que o procedimento seja otimizado e mais eficiente. A altíssima qualidade dos extratos permite que o processo seja dimensionado para produção em larga escala pelas indústrias, atendendo e conciliando as exigências econômicas e sustentáveis do mercado.

PALAVRAS-CHAVE: Tecnologia supercrítica, sustentabilidade, produtos naturais.

SUPERCritical TECHNOLOGY APPLIED THE EXTRACTION OF NATURAL PRODUCTS

ABSTRACT: The supercritical technology is a green technology, which eliminates the use of toxic and environmentally harmful solvents. In this work, it was observed that the technology manages to be selective when concentrating the compounds of interest, generating extracts with very high quality, rich in bioactives such as flavonoids, beta-carotenes, polysaccharides and fatty acids. The plant matrices have their parts used almost entirely. It is also noted that factors such as location and operating conditions are parameters that must be evaluated so that the procedure is optimized and more efficient. The very high quality of the extracts allows the process to be dimensioned for large-scale production by industries, meeting and reconciling the economic and sustainable demands of the market.

KEYWORDS: Supercritical technology, sustainability, natural products.

1 | INTRODUÇÃO

O processo de extração tem como objetivo a separação de substâncias, estando ainda, relacionado a processos posteriores de isolamento e recuperação de constituintes de interesse e purificação, sendo útil em procedimentos para remoção de contaminantes ou componentes indesejados. Em todo caso, o processo de extração deve ser avaliado em relação ao custo financeiro, rendimento, tempo de extração, mão de obra e qualidade do produto. As técnicas mais utilizadas são extração por solventes, extração com líquidos pressurizados, extração por arraste a vapor, extração por soxhet, hidroddestilação, destilação por arraste a vapor, extração por ultrassom e extração por fluido supercrítico (EFS) (CIUFFA, 2021).

Com a crescente demanda pela diminuição no consumo de produtos de origem animal, para o maior consumo de produtos de origem vegetal como alternativa para minimizar problemas futuros gerados pela superpopulação como a falta de alimentos cárneos. Cada vez mais torna-se importante o desenvolvimento de processos e rotas tecnológicas menos agressivas ao meio ambiente, trazendo uma relação sustentável entre o homem e a natureza. Neste sentido, a tecnologia supercrítica origina produtos concentrados em bioativos de interesse para as indústrias pela extração de vastas matrizes vegetais e misturas líquidas. Tornando, esta tecnologia promissora para produção em larga escala para aproveitamento de produtos naturais (MENEZES et al., 2022; CHEMAT et al.,

2020)

A tecnologia de EFS, chama atenção por permitir que os produtos obtidos apresentem altíssima qualidade, promovendo a manutenção de compostos termosensíveis, não deixando resíduos de solventes no produto, além de ser considerada uma técnica limpa e não agressiva ao meio. Por estas características, a tecnologia supercrítica ganha destaque no que tange a ser um processo considerado verde, cujo procedimento envolve o uso de solventes menos agressivos e tóxicos, a tecnologia também reduz o tempo de extração, requer uma mão de obra qualificada, além de gerar produtos com altíssima qualidade ambiente (CHEMAT et al., 2020; BRUNNER, 1994). Assim, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre a extração de produtos naturais utilizando tecnologia supercrítica.

2 | MÉTODO

Este trabalho constitui-se de uma revisão bibliográfica do tipo integrativa. Para tanto, utilizou-se para compor o aporte bibliográfico, estudos disponíveis em banco de dados como: SCIELO, PUBMED, ELSEVIER, MOLÉCULES e google scholar e repositórios institucionais. As pesquisas não datam de período específico, foram pesquisados artigos na língua inglesa. Os descritores incluem: Supercritical fluids + espécie vegetal, Supercritical fluids + natural products ou Supercritical fluids + (terminologia de interesse).

3 | CONCEITOS BÁSICOS SOBRE TECNOLOGIA SUPERCRÍTICA

O estado físico em que certa substância poderá ser encontrada está relacionado a manipulação das variáveis pressão (P) e temperatura (T). O aumento da temperatura favorece a formação da fase gasosa, todavia a redução desta variável favorece a formação da fase líquida. Em relação a pressão, a formação da fase sólida ou líquida, é favorecida quando a pressão aumentar, do contrário, a diminuição facilita a formação da fase gasosa. Logo, a EFS ocorre quando compostos de uma dada matriz são solubilizados por um solvente em estado supercrítico, ou seja, com valores acima dos críticos das variáveis pressão e temperatura (Figura 1) (RACOSKI, 2019).

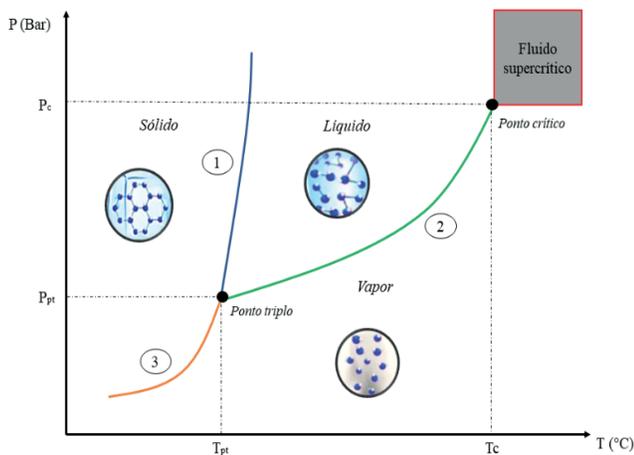


Figura 1. Diagrama de fases

Fonte: Os autores (2023). Adaptado de Brunner (1994)

Os valores críticos de pressão e temperatura indicam a condição máxima de condensação do vapor, acima destes valores, ocorre a formação de uma fase (fluido supercrítico) que apresentará características intermediárias entre a fase gasosa e a fase líquida (Tabela 1). Com propriedades de difusividade e viscosidade semelhante à dos gases e densidade similar a dos líquidos. Estas características permitem que o fluido tenha maior poder de solubilização, melhor seletividade e eficiência na extração (TURNER et al., 2001).

Propriedades físicas	Gás (1 atm, 15- 30°C)	Fluido supercrítico T _c , P _c	Líquido (1 atm, 15-30 °C)
Difusividade	0,1-0,4	$0,7 \times 10^{-3}$	$(0,2-2) \times 10^{-5}$
Viscosidade	$(0,6-2,0) \times 10^{-4}$	$(1,0-3,0) \times 10^{-4}$	$(0,2-3) \times 10^{-2}$
Densidade	$(0,6-2,0) \times 10^{-3}$	0,2-0,5	0,6-1,6

Tabela 1. Valores de propriedades físicas dos estados gasoso, fluido supercrítico e líquido

Fonte: Brunner (1994)

A manipulação das variáveis promoverá alterações nas propriedades do fluido, influenciado no processo de extração. De maneira geral, o aumento da pressão melhora poder de solvatação, pois ocasiona uma maior densidade do solvente e melhor eficiência no processo de extração. Já a manipulação da temperatura, poderá acarretar o aumento da solubilidade, pelo aumento da pressão de vapor do soluto ou menor solubilidade pela redução no poder de solvatação (KNEZ et al., 2019).

A solubilidade do substrato no fluido dependerá basicamente, da densidade e da

pressão de vapor do soluto. O aumento da pressão aumenta a densidade do fluido e diminui a pressão de vapor do soluto. Se a pressão for constante e a temperatura aumentar, a densidade do solvente diminui e a pressão de vapor do soluto aumenta. Estes efeitos produzem uma inversão na curva de solubilidade (retrogradação) (McHUNG, KRUKONIS, 1994).

Existem uma variedade de solventes que podem ser utilizados para EFS (Tabela 2), dentre os quais cita-se o propano ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$), água (H_2O), etano (CH_3CH_3) e dióxido de carbono (CO_2). Este último em particular, tem sido o mais escolhido pois apresentam baixo custo financeiro, atoxidade, não inflamabilidade, não agressivo ao meio ambiente e possui baixos pontos críticos (31 °C e 73,8 kPa). Além disto, possui elevada pureza e pode ser reciclado (RACOSKI, 2019).

Fluidos	Tc (°C)	Pc (bar)	Dc (g/cm ³)
CO ₂	30,95	73,8	0,47
Propano	96,65	42,5	0,22
Etano	32,15	48,7	0,20
Metanol	239,45	80,9	0,27
Etanol	240,75	61,4	0,28
Água	374,15	221,2	0,35

Legenda: Tc: Temperatura crítica; Pc: Pressão crítica; Dc: Densidade crítica

Tabela 2. Componentes que podem ser utilizados como solventes na extração supercrítica

Fonte: Adaptado de Tuner et al., (2001)

O CO₂ por ser apolar consegue solubilizar compostos apolares e alguns compostos de baixa polaridade. Para que o rendimento no processo de extração de compostos polares possa ser aumentando, faz-se o uso de cossolventes, como o etanol (EtOH) em quantidades de 5 a 20% em massa, os cossolventes também melhoram a seletividade do processo (RACOSKI, 2019).

4 I PROCESSO DE EXTRAÇÃO VIA CO₂-SC

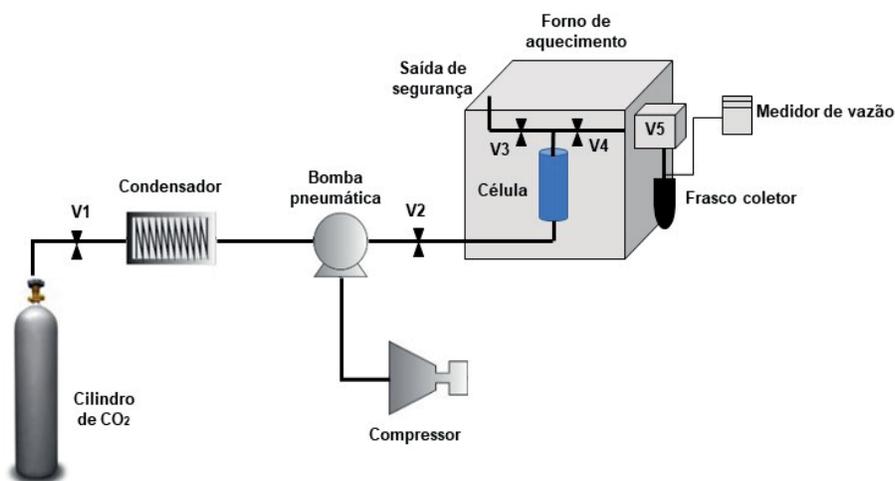
A matéria prima, necessita passar pela avaliação de alguns parâmetros (Figura 2) como secagem, análise centesimal e diâmetro da partícula, para que de acordo com as características o melhor sistema possa ser adotado, bem como tempo de extração e cossolvente adequado:



Figura 2. Caracterização da matéria prima
 Fonte: Os próprios autores (2023)

As análises destes parâmetros possibilitam que possa ser observado como a matéria prima ainda pode ser aproveitada após a extração. Na maioria dos métodos como maceração e soxhlet, por exemplo, a matéria prima é esgotada e a matéria bruta resultante não tem valor agregado, com a tecnologia supercrítica, a matéria resultante exibe alta concentração de compostos bioativos e valor nutricional após a extração, podendo ser reaproveitada em outros processos e pesquisas (SILVA et al., 2019).

O processo de extração pode ser descrito em duas etapas (Figura 3), na primeira etapa, o fluido escoar no extrator e entra em contato com a matriz, extraindo o soluto, ao final desta etapa tem-se uma mistura de solvente e soluto. Na segunda etapa, ocorre a diminuição da pressão, o solvente passa para o estado gasoso e o soluto então é precipitado e colhido (SALAZAR, 2017).



Legenda: V1, V2, V3, V4 E V5: válvulas

Figura 3. Desenho esquemático de uma unidade analítica de extração supercrítica

Fonte: Os próprios autores (2023)

O CO_2 no estado gasoso chega ao condensador, e se transforma para o estado líquido, passando para a bomba pneumática que junto do compressor, conduz para o forno o CO_2 pressurizado. No forno de extração, a temperatura crítica é atingida. O CO_2 , agora no estado supercrítico com dados T_c e P_c , entra em contato com a matriz, solubilizando o soluto. O soluto solubilizado no solvente (Fluido) é então separado através da depressurização do sistema, o CO_2 depressurizado pode ser coletado e reaproveitado, o soluto então é coletado livre de solvente (SALAZAR, 2017).

5 | EXTRAÇÃO DE PRODUTOS NATURAIS

Os produtos naturais, são aqueles encontrados na natureza, apresentam propriedades biológicas e nutracêuticas, podendo ser utilizado para concepção de produtos de valor econômico e farmacológico. A utilização da tecnologia supercrítica para extração em matrizes sólidas vegetais, passam principalmente pela obtenção de óleos e extratos vegetais ricos em compostos bioativos. O Brasil, quando comparado a outros países ainda tem sua pesquisa voltada bastante para área acadêmica (CIUFFA, 2021).

Os produtos naturais são conhecidos por exibirem propriedades nutricionais e medicinais associadas ao conhecimento tradicional. Muitas das propriedades biológicas já foram cientificamente comprovadas, assentindo o uso geracional de muitas plantas e frutos ao longo de décadas. As espécies são ricas em betacaroteno, ácidos graxos, polifenóis e vitaminas, atuando como antioxidantes, anti-inflamatórios e antibactericidas, além de auxiliarem devido seu valor nutricional, no reforço a imunidade promovendo uma melhor

qualidade de vida (SILVA et al., 2022).

Aqui serão abordadas pesquisas envolvendo os produtos naturais (Tabela 3), sendo frutos, folhas e oleaginosas presente na culinária e medicina popular. Na tabela estão presentes os maiores componentes encontrados nos extratos coletados no processo de EFS via CO₂:

Frutos	Componentes de interesse	Sistema	Atividade biológica	Referência
Tucumã (<i>Astrocaryum vulgare</i> Mart.)	Betacaroteno; ácido oleico; ácido linoleico; ácido palmítico; flavonoides; polissacarídeos	CO ₂ -SC	Antioxidante, antiinflamatório, anti-hiperglicêmico, antimicrobiano, anticarcinogênico, neuroprotetor	Menezes et al., (2022); Baldiserra et al., (2017)
Açaí (<i>Euterpe oleracea</i> Mart)	Ácido oleico; ácido palmítico; antocianinas; triglicerídeos	CO ₂ -SC	Antioxidante, antiinflamatório, anticarcinogênico, imunomodulatório, citotóxico, antiproliferativo	Silva et al., (2019); Yamaguchi et al., (2015)
Pupunha (<i>Bactris gasipaes</i>)	Ácido oleico; ácido palmítico; ácido esteárico, antocianinas, betacaroteno; -α-tocoferol; betasisterol	CO ₂ -SC	Antibactericida, antifúngica, antioxidante, antiinflamatório, antiproliferativo, anticarcinogênico	Espinosa-Pardo et al., (2014); Soares et al., (2022)
Jucá (<i>Libidía ferrea</i>)	Ácidos graxos, γ-sitosterol	CO ₂ -SC	Antioxidante, antiinflamatório, antiglicêmico, anti-hipertensivo	Dias et al., (2013); Ferreira, Soares (2015)
Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	Flavonoides, tocoferol, Ácidos graxos	CO ₂ -SC/ EtOH	Antioxidante, imunomoduladoras, desordens gastrointestinais, antiinflamatório	Azevedo et al., (2003); Jean-Marie et al., (2022)
Mururé (<i>Brosimum acutifolium</i>)	Flavonoides; cumarinas; terpenos; ácidos graxos	CO ₂ -SC/ EtOH; CO ₂ - SC/EtOAc	Antimicrobiano, Antioxidante, antiinflamatório, antiproliferativo anticarcinogênico, neuroprotetor	Sousa (2022); Reis et al., (2021); Maués et al., (2021)
Jambu (<i>Spilanthes acmella</i>)	Espilantol	CO ₂ -SC	Antioxidante, antibactericida, antifúngica, analgésico, antiinflamatório	Dias (2012); Dubey et al., (2013)
Castanha do Brasil	Ácidos graxos, ômega 3, ômega 6, ômega 9	CO ₂ -SC	Antioxidante, antiinflamatório, antimicrobiano, neuroprotetor	Santos et al., (2013); Cardoso et al., (2017)

Tabela 3. Matrizes naturais extraídas por tecnologia supercrítica e seu potencial biológico

Fonte: Os próprios autores (2023)

O tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) é uma árvore encontrada na Amazônia, seus frutos apresentam em sua composição elevada quantidade de carotenoides, flavonoides, polissacarídeos e ácidos graxos. Menezes et al., (2022) estudou o processo de obtenção de um óleo de rico em carotenoides utilizando CO₂ supercrítico. Seus resultados exibiram que um extrato rico em ácido oleico e o maior rendimento mássico pode ser obtido sob alta

temperatura e pressão (60°C e 400 bar), enquanto a maior composição de carotenoides foi observada em extratos coletados sob alta pressão (40°C a 400 bar). O óleo do tucumã apresenta atividade antioxidante, antiinflamatória, anti-hiperglicêmica, antimicrobiana e anticancerígena, conforme estudo feito por Baldiserra et al., (2017) em um estudo *in vivo* realizado com ratos com diabetes induzida.

O açai conhecido pelo nome científico *Euterpe oleracea* Mart, é um fruto amazônico oleoso, muito utilizado na culinária para preparo de doces e sobremesas, compondo ainda parte da dieta de algumas comunidades no sul e norte da América. Este fruto apresenta propriedades antioxidantes, antiinflamatórias, anticancerígenas, antiproliferativa e entre outras (YAMAGUCHI et al. 2015). Em um estudo Silva et al., (2019) avaliou os perfis de ácidos graxos e trigliceróis em relação a distribuição geográfica e as condições operacionais de temperatura e pressão. Neste trabalho, o teor de ácidos graxos e trigliceróis foram influenciados majoritariamente pela localização geográfica do que pelas condições operacionais de extração com CO₂ supercrítico. Quando avaliado o rendimento mássico de óleo obtido, a pesquisa concluiu que os maiores rendimentos são observados sob altas pressões e temperaturas 60°C a 420 bar e a 70°C a 490 bar. Nestas condições, os teores de compostos fenólicos e antocianinas e a atividade antioxidante foram mais elevadas.

A pupunha (*Bactris gasipaes*) é um fruto encontrado na América tropical, rico em carotenoides e aminoácidos essenciais. Possui vasta atividade biológica como antiinflamatória, antimicrobiana, antioxidante e anticancerígena (SOARES et al., 2022). Foi estudado por Espinosa-Pardo et al., (2014), o qual investigou a diferença nos teores de carotenoides e atividade antioxidante em relação aos métodos de extração por CO₂ supercrítico e extração por Soxhlet. Em termos de rendimento mássico, o óleo obtido quantitativamente por Soxhlet foi superior, enquanto em comparação ao teor de carotenoides os óleos obtidos por extração supercrítica (40°C a 300 bar) apresentaram-se altamente concentrados, inclusive em relação ao teor de betacarotenos, influenciado diretamente na atividade antioxidante observada.

O jucá (*Libidía férrea* Mart.) ou pau ferro, é uma planta nativa brasileira, muito popular na região norte. Utilizada popularmente para tratamentos de distúrbios gastrointestinais, inflamações e infecções. Possui atividade antibactericida, antiinflamatória, analgésica, antioxidante e hipoglicêmica (FERREIRA, SOARES, 2015). Com o intuito de obter curativos para ferimentos, Dias et al., (2013) obteve extratos de jucá sob uma única condição (50 °C a 250 bar), os resultados da cromatografia gasosa revelaram a presença abundante de ácidos graxos (<70%) e fitoesteróis. Nesta mesma pesquisa, os autores avaliaram a atividade antiinflamatória deste extrato quando incorporado a duas matrizes poliméricas: N-carboxibutilquitosana e ácido hialurônico, através de impregnação/deposição de fluido supercrítico. Os maiores rendimentos foram constatados nos extratos incorporados com N-carboxibutilquitosana. Os curativos reduziram a expressão de citocinas TNF-α e IL-1α, confirmando a atividade antiinflamatória dos extratos de jucá.

As sementes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) que são frutos amazônicos muito consumidos na região norte do Brasil, são oleaginosas com mais de 60% de gordura em sua composição. Muito utilizado nas indústrias alimentícias, farmacêutica e de cosméticos (JEAN-MARIE et al., 2022). Azevedo et al., (2003) extraiu usando um sistema de CO₂ e um sistema de CO₂+Etanol (EtOH) as sementes de cupuaçu com o intuito de obter um extrato oleoso com alto rendimento. Foi observado que para esta oleaginosa, altas pressões favoreceram a eficiência do processo, para ambas as condições de temperatura estudadas (50°C e 70°), os maiores rendimentos foram observados a 350 bar. Sendo, os extratos coletados no sistema CO₂+Etanol (EtOH), ricos em trigliceróis.

A espécie *Brosimum acutifolium* é uma árvore nativa brasileira, encontrada em florestas de terra firme e a casca da raiz foi avaliada por Sousa (2022) através de uma extração sequencial utilizando CO₂ supercrítico e cossolventes (acetato de etila e etanol), obtendo extratos ricos em compostos fenólicos. O perfil fitoquímico indicou a presença de cumarinas, ácidos graxos, flavonoides e terpenos. Foi constatado ainda que as melhores condições de rendimento mássico foram obtidas utilizando acetato de etila como cossolvente (60 °C a 350 bar) e que os maiores teores de compostos fenólicos foram observados na extração com etanol na condição de 40°C a 250 bar. Com relação a atividade biológica da espécie, já foi constatado que ela apresenta atividade antiinflamatória, antioxidante, neuroprotetora, antimicrobiana e anticancerígena (REIS et al., 2021; MAUÉS et al., 2021).

O jambú de nome científico *Acmella oleracea* ou *Spilanthes acmella*, são folhagens ricas em alquilamidas, que são metabólitos responsáveis pelas atividades biológicas observadas, como capacidade antiinflamatória, anestésica, antimicrobiana, diurética, afrodisíaca e antioxidante (DUBEY et al., 2013). Neste sentido, Dias et al., (2012) estudou as variadas partes do jambú, como folhas, flores e raízes, através de quatro sistemas CO₂, CO₂/H₂O CO₂/EtOH e CO₂/EtOH/ H₂O. Neste trabalho, os autores concluíram que as flores do jambu são concentradas em espilantol quando utiliza-se o sistema CO₂ supercrítico, enquanto nos outros sistemas foi observado elevados teores de compostos fenólicos e atividade antioxidante. Estes resultados corroboram o uso desta planta para tratamento de certas mazelas.

A castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*) é uma oleaginosa rica em ácidos graxos e selênio, é uma fonte de proteínas e outros nutrientes, sendo uma semente nativa da brasileira muito consumida por comunidades ribeirinhas e indígenas, fazendo parte da dieta destas populações. Além disto, estudos evidenciam o seu potencial suplementar na alimentação, devido à alta concentração de micro e macro nutrientes. Esta semente, possui potencial cardioprotetor, antiinflamatório e antidiabético (CARDOSO et al., 2017). O óleo da castanha do Brasil foi extraído sob variadas condições de temperatura e pressão (40 °C, 50 °C e 60°C a 200 bar, 250 bar e 300 bar). Nesta pesquisa, todas as condições influenciaram na qualidade do extrato, sendo que os maiores rendimentos mássicos observados foram sob alta temperatura e pressão (60°C a 300 bar), nesta condição obteve-se ainda um

extrato oleoso rico em ácidos graxos insaturados, principalmente o ômega-3, ômega-6 e ômega-9 (SANTOS et al., 2013).

6 | CONCLUSÕES

O cenário global atualmente apontam para inovações tecnológicas que conciliam a sustentabilidade com a economia, de modo que as indústrias possam atender as exigências sustentáveis do mercado competitivo agregando valor aos produtos naturais e seus derivados, gerando produtos com altíssima qualidade. Soma-se a isto, a crescente procura por bens de consumo que tenham um processo de fabricação com ingredientes cada vez mais naturais. Neste sentido, os produtos naturais que por si já representam uma fonte de compostos bioativos de relevância a saúde humana, podem ser mais valorizados por técnicas como a tecnologia supercrítica, que permite que se obtenha um processo mais seletivo em relação aos componentes de interesse e possibilita que os extratos e as matrizes sejam concentrados em bioativos, agregando valor, a matriz com um todo, neste processo praticamente toda matéria prima é aproveitada e os custos de processos de purificação posteriores são dispensados, além de que a tecnologia supercrítica reduz o uso de solventes tóxicos, o que a torna verde e sustentável.

REFERÊNCIAS

ARRUDA, M.S.P.; GNOATTO, S.C.B.; MACEDO, A.J. Remarkable capacity of AZEVEDO, A.B.A.; KOPCAK, U.; MOHAMED, R.S. Extraction of fat from fermented Cupuaçu seeds with supercritical solvents. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 27, n.2, p. 223-237, 2003.

BALDISSERA M.D.; SOUZA, C.F.; GRANDO, T.H.; COSSETIN, L.F.; SAGRILLO, M.R.; NASCIMENTO, K, et al. Antihyperglycemic, antioxidant activities of tucumã oil (*Astrocaryum vulgare*) in alloxan-induced diabetic mice, and identification of fatty acid profile by gas chromatograph: New natural source to treat hyperglycemia. **Chemico-Biological Interactions**, v.270, p. 51-58, 2017.

brosimine b to disrupt methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) preformed biofilms. **Microb Pathogenesis**, v.140, p.103967. Doi: 10.1016/j.micpath.2020.103967.

BRUNNER, G. **Gas Extraction: An Introduction to Fundamentals of Supercritical Fluids and the Applications to Separation Processes**. Springer, New York, 1994.

CARDOSO, B.R.; DUARTE, G.B.S.; REIS, B.Z.; COZZOLINO, S.M.F. Brazil nuts: Nutritional composition, health benefits and safety aspects. **Food Research International**, v.100, p. 9-18, 2017.

CHEMAT, F.; VIAN, M. A.; FABIANO-TIXIER, A. S.; NUTRIZIO, M.; JAMBRAK, A. R.; MUNEKATA, P. E., et al. **A review of sustainable and intensified techniques for extraction of food and natural products**. *Green Chemistry*, v. 22, n.8, p. 2325-2353, 2020.

CIUFFA, Maria Alice Novelli Liberatto. **Extrato da folha da *Urera baccifera* por tecnologia supercrítica comparada às metodologias convencionais**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2021.

DIAS, A.M.A.; REY-RICO, A.; OLIVEIRA, R..A.; MARCENEIRO, S.; ALVAREZ-LORENZO, C.; CONHEIRO, A., et al. Wound dressings loaded with an anti-inflammatory jucá (*Libidibia ferrea*) extract using supercritical carbon dioxide technology. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 74, p. 34-45, 2013.

DIAS, A.M.A.; SANTOS, P.; SEABARA, I.J.; JUNIOR, RNC.; BRAGA, M.E.M.; SOUSA, H.C. Spilanthol from *Spilanthes acmella* flowers, leaves and stems obtained by selective supercritical carbon dioxide extraction. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 61, p. 62-70, 2012.

DUBEY, S.; MAYTI, S.; SINGH, M.; SARAF, S.A.; SAHA, S. Phytochemistry, Pharmacology and Toxicology of *Spilanthes acmella*: A Review. **Advances in Pharmacological and Pharmaceutical Sciences**, v.2013, p. 1-9, 2013.

ESPINOSA-PARDO, F.A.; MARTINEZ, J.; MARTINEZ-CORREA, H.A. Extraction of bioactive compounds from peach palm pulp (*Bactris gasipaes*) using supercritical CO₂. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 93, p. 2-6, 2014.

FERREIRA, M.R.A.; SOARES, L.A.R. *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L. P. Queiroz: A review of the biological activities and phytochemical composition. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 9, n.5, p. 140- 150, 2015.

JEAN-MARIE, E.; JIANG, W.; BERAU, D.; ROBINSON, J.-C. *Theobroma cacao* and *Theobroma grandiflorum*: Botany, Composition and Pharmacological Activities of Pods and Seeds. **Foods**, v.11, n.24, p. 3966, 2022.

KNEZ, Ž.; PANTIĆ, M.; CÖR, D.; NOVAK, Z.; HRNČIČ, M. K. **Are supercritical fluids solvents for the future?**. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*,v.141, p.107532, 2019.

MAUÉS, L.A.L.; ALVES, G.M.; COUTO, N.M.G.; SILVA, M.S.P.; ARRUDA, M.S.P.; MACCHIA, C.B.C.; SENAC, A.F.; PRADOC, M.E.; CRESPO-LOPEZ, E.O.; SILVA, J.L.M.; NASCIMENTO, F. Flavonoids from the Amazon plant *Brosimum acutifolium* induce C6 glioma cell line apoptosis by disrupting mitochondrial membrane potential and reducing AKT phosphorylation. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, v.113, p. 108728, 2019.

McHUGH, M.A.; KRUKONIS, V.J. **Supercritical Fluid Extraction: Principles and Practice**, 2ª ed. Butterworth-Heinemann: Stoneham, 1994.

MENEZES E.G.O.; BARBOSA, J.R.; PIRES, F.C.S.; FERREIRA, M.C.R.; SILVA, A.P.S.; SIQUEIRA, L.M.M, et al. Development of a new scale-up equation to obtain Tucumã-of-Pará (*Astrocaryum vulgare* Mart.) oil rich in carotenoids using supercritical CO₂ as solvent. **The Journal of Supercritical Fluids**, v.181, p. 105481, 2022.

RACOSKI, Jéssica Carla. **Tecnologia de fluido supercrítico como ferramenta para obtenção de extrato de erva-mate (*Ilex paraguariensis*)**. 2019. 149 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, p. 149, 2019.

REIS, S.V.D.; COUTO, N.M.G.; BRUST, F.R.; TRENTIN, D.S.; SILVA, J.K.R.D.; SALAZAR, Marielba de los Angeles Rodriguez. **Avaliação da composição química, efeito neuroprotetor e anti-inflamatório de extratos de cipó-pucá (cissus sicyoides L.) obtidos via extração supercrítica.** 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos), Universidade federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, p. 89, 2017.

SANTOS, O.V.; CORREA, N.C.F.; CARVALH Jr, R.N.; COSTA, C.E.F.; LANNES, S.C.F. Yield, nutritional quality, and thermal-oxidative stability of Brazil nut oil (*Bertolletia excelsa* H.B.K) obtained by supercritical extraction. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n.4, p. 499-504, 2013.

SILVA, M.P.; CUNHA, V.M.; SOUSA, S.H.B.; MENEZES, E.G.O.; BEZERRA, P.N.; NETO, J.T.F, et al. Supercritical CO₂ extraction of lyophilized Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) pulp oil from three municipalities in the state of Pará, Brazil. **Journal of CO₂ Utilization**, v.32, p. 226-234, 2019.

SOARES, S.D.; SANTOS, O.V.; NASCIMENTO, F.D.C.A.; PENA, R.S. A review of the nutritional properties of different varieties and byproducts of peach palm (*Bactris gasipaes*) and their potential as functional foods. **International Journal of Food Properties**, v.25, n.1, p. 2146-2165, 2022.

TURNER, C.; KING, J. W.; MATHIASSEN, L. Supercritical fluid extraction and YAMAGUCHI, K.K.L.; PEREIRA, L.F.R.; LAMARÃO, C.V.; LIMA, E.S.; VEIGA-JUNIOR, V.F. Amazon açai: Chemistry and biological activities: A review. **Food Chemistry**, v.179, p.137-151, 2015.

UM ESTUDO SOBRE A PERCEPÇÃO DE SEGURANÇA QUE AS LEIS DIGITAIS EXERCEM SOBRE USUÁRIOS DE SERVIÇOS E PRODUTOS DIGITAIS

Data de aceite: 02/05/2023

Nathan Novais Borges

Universidade Presbiteriana Mackenzie -
(IC)

Fabio Silva Lopes

Universidade Presbiteriana Mackenzie -
(Orientador)

RESUMO: Leis que abrangem o contexto digital em relação à proteção de Dados vêm se tornando cada vez mais comuns, tais como a brasileira LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados) e a GDPR (General Data Protection Regulation). A criação de regulamentações de manipulação e coleta de dados, que abrangem o contexto digital, são consequência da crescente expansão do mundo digital junto ao aumento exponencial na produção de dados. O principal objetivo de tais legislações é regulamentar o armazenamento, processamento e utilização de dados pessoais, com o intuito de proteger e garantir a segurança dos titulares desses dados. Porém muitos indivíduos possuem deficiências no que se refere ao conhecimento de Leis que abrangem o contexto digital e boas práticas sobre o comportamento e vivência dentro do mundo virtual, criando vulnerabilidades

de segurança para tais pessoas. Entre os principais fatores que aceleraram a adoção de serviços computacionais por pessoas com menor familiaridade com a tecnologia, podemos citar a pandemia internacional de covid-19, que ao criar um cenário de mudança de comportamento da sociedade visando um maior distanciamento social, gerou tanto um aumento em interações através dos meios digitais quanto uma escalada no número de golpes digitais. Com base nesse cenário, esse estudo busca entender como os indivíduos, cada vez mais associados a um contexto digital, compreendem e entendem as Leis digitais, criadas para protegê-los.

PALAVRAS-CHAVE: Leis de Regulação de Dados, Segurança de Dados, Cidadão Digital

ABSTRACT: Laws covering the digital context in relation to Data protection have become increasingly common, such as the Brazilian LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados) and GDPR (General Data Protection Regulation). The creation of data handling and collection regulations, which cover the digital context, are a consequence of the growing expansion of the digital world along with the exponential increase in data

production. The main purpose of such legislation is to regulate the storage, processing and use of personal data in order to protect and ensure the safety of the holders of such data. However, many individuals have deficiencies regarding the knowledge of Laws that cover the digital context and good practices on behavior and experience within the virtual world, creating security vulnerabilities for such people. Among the main factors which have accelerated the adoption of computer services by people with less familiarity with technology, we may mention the international pandemic of covid-19, which, by creating a scenario of change in society's behavior aiming at a greater social distance, has generated both an increase in interactions through digital means and an escalation in the number of digital scams. Based on this scenario, this study seeks to understand how individuals, increasingly associated to a digital context, understand and comprehend the Digital Laws, created to protect them.

KEYWORDS: Data Regulation Laws, Data Security, Digital Citizen

1 | INTRODUÇÃO

A Lei Federal nº 13709, de 14 agosto de 2018, mais conhecida como LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados) (Brasil, 2018), entrou em vigência em setembro de 2020, inspirada em legislações internacionais, como a europeia GDPR, que vêm se tornando cada vez mais comuns no cenário mundial.

A Lei em seu Artigo 1º,

“...dispõe sobre o tratamento de dados pessoais, inclusive nos meios digitais, por pessoa natural ou por pessoa jurídica de direito público ou privado, com o objetivo de proteger os direitos fundamentais de liberdade e de privacidade e o livre desenvolvimento da personalidade da pessoa natural” (Brasil, 2018).

Portanto, a Lei foi criada para regular o tratamento e coleta de dados, que são produzidos de forma abundante todos os dias por diversos tipos de usuários, oferecendo maior segurança digital para as pessoas. Levando em conta o crescimento exponencial da produção de dados, reforçado pela aceleração da digitalização do mundo desde 2020, a LGPD mostrou-se um divisor de águas no contexto digital brasileiro.

Ademais a pandemia internacional de COVID-19, acelerou veementemente a digitalização de diversos processos, tanto para os usuários já acostumados ao uso cotidiano da tecnologia quanto para aqueles que possuíam pouca ou nenhuma familiaridade às ferramentas e processos digitais.

Ao relacionar a evolução significativa da capacidade de extração e análise de dados, junto a um crescimento no número de usuários pouco familiarizados ao contexto computacional, cria-se um cenário frágil para com a segurança e privacidade do usuário, que muitas vezes não compreende os seus direitos garantidos pela Lei que abrange o mundo digital. Dessa forma, torna-se importante compreender os riscos de segurança dentro do ambiente digital que tal conjuntura pode proporcionar ao usuário, e qual o nível de entendimento deles para com os seus direitos e responsabilidades conforme a Lei

estabelecida.

Portanto, o objetivo deste estudo será entender melhor a percepção das pessoas com relação à LGPD, considerando os impactos para a sociedade em um contexto de inserção digital crescente.

Assim, esse trabalho foi estruturado da seguinte forma: Referencial Teórico, com o objetivo de realizar uma revisão bibliográfica e um estudo com estudos e conceitos que contemplem este estudo; Metodologia, em que os métodos e abordagens adotados neste estudo são detalhados; Resultados e Discussão, em que são apresentados os dados e resultados adquiridos a partir do escopo definido dentro da metodologia, e realizada uma análise das informações adquiridas junto ao conhecimento adquirido a partir do Referencial Teórico; Considerações finais, em que os principais tópicos são retomados junto a uma conclusão do estudo realizado.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico das Leis De Proteção de Dados

2.1.1 Declaração dos Direitos dos Direitos – 1948

A regulamentação e proteção de informações pessoais é uma questão que a muito tempo vem sendo debatida. Porém, a partir da Declaração dos Direitos dos Direitos Universais do Homem, criada pela ONU em 1948, o assunto passou a ter uma maior relevância.

O seu artigo XII prevê a proteção do direito à privacidade “Ninguém será sujeito à interferência em sua vida privada, em sua família, em seu lar ou em sua correspondência, nem a ataque à sua honra e reputação. Todo ser humano tem direito à proteção da lei contra tais interferências ou ataques.”

Em 1950, a Convenção Europeia dos Direitos Humanos, buscou reafirmar a proteção do mesmo direito em seu artigo 8º. Porém, mesmo sendo um avanço significativo em relação ao direito da privacidade, é importante perceber que nesse momento inicial, o artigo 8º afirma que esse direito poderia sofrer violações por parte de uma autoridade pública, conforme as situações listadas. Ademais, não fica claro como e por quem essa proteção em relação à privacidade deveria ocorrer e ser garantida.

2.1.2 Diretiva 95/46/CE – 1995

A Diretiva Europeia de 1995 é outro marco na história da regulação da proteção de dados. Lançada em uma época em que a internet e a digitalização dos serviços começavam a se consolidar cada vez mais, a Diretiva foi criada para ser utilizada dentro dos países membros da União Europeia (UE), podendo servir de exemplo também para os

não membros.

Ela tinha como objetivo regulamentar a coleta, formatação, utilização dos dados pessoais, sendo que aqui os dados pessoais podem ser definidos como “qualquer informação relativa a uma pessoa singular identificada ou identificável”, sendo “considerado identificável todo aquele que possa ser identificado, direta ou indiretamente, nomeadamente por referência a um número de identificação ou a um ou mais elementos específicos de sua identidade física, fisiológica, psíquica, econômica, cultural ou social”.

Outra definição importante que a Diretiva traz é a de dados pessoais sensíveis, definidos como “dados pessoais que revelem a origem racial ou étnica, as opiniões políticas, as convicções religiosas ou filosóficas, a filiação sindical, bem como o tratamento de dados relativos à saúde e à vida sexual”.

A Diretiva 95/46/CE demonstrou ser de severa importância para com a época em que foi adotada, definindo não apenas a regulação de dados dentro da própria União Europeia. Estabeleceu a necessidade de que empresas atuantes no território europeu deveriam garantir a proteção dos dados pessoais ao enviar dados pessoais ao exterior da União Europeia, caso contrário, poderiam estar violando a Diretriz e criar problemas jurídicos.

2.1.3 GDPR (General Data Protection Regulation) – 2016

A Diretiva 95/46/CE que vigorava desde 1995, não foi capaz de acompanhar o ritmo crescente de expansão do mundo digital junto ao crescimento na produção de dados. Nesse contexto, começou a ser discutida uma revisão em relação à Diretiva.

Em 2016, a União Europeia aprovou a GDPR, General Data Protection Regulation, que representou um marco em relação às regulamentações sobre a utilização dos dados pessoais. A Lei tem como objetivo regulamentar o armazenamento, processamento e utilização de dados pessoais na União Europeia.

A Diretiva, utilizada como base para a criação da nova regulação de dados europeia, vigorou até o dia 24 de maio de 2018, sendo substituída pela GDPR em 25 de maio de 2018. Diferente da Diretiva, a GDPR é um Regulamento, devendo ser adotada em todos os membros da UE.

Em comparação à Diretiva anterior, a GDPR apresentou mudanças significativas, trazendo a introdução de novos direitos individuais, tais como: o direito do esquecimento, em que os dados do titular armazenados por uma organização, devem ser apagados em caso de solicitação do titular; o direito da portabilidade, que garante o direito do titular a exigir a transferência de seus dados de uma empresa para outra; a introdução de notificação obrigatória em casos de vazamentos de dados; a necessidade de existir um responsável pela proteção de dados; a aplicação de multas e penalidades em casos de violação da Lei.

Dessa forma, a GDPR, que visa garantir a segurança dados pessoais ao regulamentar como tais dados podem ser manipulados e coletados pelas empresas, está servindo como

referência para criação de outras legislações referentes à proteção de dados, como por exemplo a LGPD no contexto brasileiro.

2.1.4 LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados) - 2018

A legislação brasileira até então, previa a proteção de dados pessoais em algumas normas internas. É possível citar:

(i) 1988 - Constituição Brasileira Federal - art. 5º- § 10º: “são invioláveis a intimidade, a vida privada, a honra e a imagem das pessoas, assegurado o direito a indenização pelo dano material ou moral decorrente de sua violação”, ou seja, a vida privada da pessoa natural é protegida pela Constituição, sendo passível de indenização caso venha a ser violada”;

(ii) 1990 - Código de Defesa do Consumidor - art. 43º- “O consumidor, sem prejuízo do disposto no art. 86, terá acesso às informações existentes em cadastros, fichas, registros e dados pessoais e de consumo arquivados sobre ele, bem como sobre as suas respectivas fontes.”;

(iii) 2014 Marco Civil da Internet – Busca estabelecer garantias, princípios e deveres em relação à utilização de internet no Brasil.

Entretanto, tais normas não estabeleciam uma regulação clara e objetiva em relação à manipulação e proteção de dados pessoais, fator necessário em uma condição crescente de produção de informações através de dados. Patricia Peck, em seu livro “Proteção de dados pessoais: comentários à Lei N. 13.709/2018, elabora:

“A LGPD surge com o intuito de proteger direitos fundamentais como privacidade, intimidade, honra, direito de imagem e dignidade. Pode-se pontuar também que a necessidade de leis específicas para a proteção dos dados pessoais aumentou com o rápido desenvolvimento e a expansão da tecnologia no mundo, como resultado dos desdobramentos da globalização, que trouxe como uma de suas consequências o aumento da importância da informação. Isso quer dizer que a informação passou a ser um ativo de alta relevância para governantes e empresários: quem tem acesso aos dados, tem acesso ao poder.”

Nesse contexto, a LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados) foi aprovada em agosto de 2018, entrando em vigor a partir de agosto de 2020, buscando trazer um cenário nacional com maior segurança digital.

A Lei brasileira em seu artigo 5º traz importantes definições de termos e conceitos. A seguir, estão alguns termos definidos pela Lei, que são amplamente abordados neste estudo:

(i) dado pessoal - informação relacionada a pessoa natural identificada ou identificável;

(ii) dado pessoal sensível - dado pessoal sobre origem racial ou étnica, convicção religiosa, opinião política, filiação a sindicato ou a organização de caráter religioso,

filosófico ou político, dado referente à saúde ou à vida sexual, dado genético ou biométrico, quando vinculado a uma pessoa natural;

(iii) consentimento - manifestação livre, informada e inequívoca pela qual o titular concorda com o tratamento de seus dados pessoais para uma finalidade determinada;

A adoção da LGPD é prevista para qualquer caso de manipulação de dados que ocorra em território brasileiro, ou seja, mesmo que a operação de tratamento seja realizada fora de território nacional, caso os dados tenham sido coletados no Brasil, a aplicação da Lei é válida. A aplicação da GDPR é realizada de forma semelhante no âmbito europeu, fazendo com que dados coletados dentro União Europeia devam ser manipulados seguindo a Lei europeia.

Outro fator essencial a ser entendido é o consentimento do titular dos dados. A Lei prevê o consentimento específico e em destaque, entendendo que o titular é aquele que pode permitir a coleta e manipulação de seus dados.

O tratamento de dados deve estar de acordo com requisitos estabelecidos pela Lei. Segundo Patricia Peck (2018) “A LGPD destaca que o tratamento de dados pessoais deve observar a boa-fé e possuir finalidade, limites, prestação de contas, garantir a segurança por meio de técnicas e medidas de segurança, assim como a transparência e a possibilidade de consulta aos titulares.”. Nesse tópico, é possível analisar uma diferença notável entre a legislação europeia e brasileira. A GDPR, em comparação à LGPD, elabora de forma mais detalhada e clara os requisitos a serem seguidos para a realização do tratamento dos dados pessoais.

Diversas empresas buscaram se adaptar para entrar nos padrões da LGPD, e dessa forma, buscam compreender a Lei. Porém, o cidadão comum, muitas vezes não compreende os próprios direitos digitais que a Lei garante. Um problema que existe na cultura digital dos usuários, que é por si só muito limitada, a ponto de não entenderem os próprios direitos e responsabilidades em um mundo online que está cada vez mais presente.

2.2 Aumento na utilização da internet

A LGPD não foi o único fator importante na experiência digital em 2020. A pandemia internacional de COVID-19, que o Brasil vem enfrentando desde março de 2020 foi um dos fatores que mais influenciou em uma maior vivência digital por parte de toda a população.

Segundo a pesquisa realizada pela ABComm (Associação Brasileira de Comércio Eletrônico) com o Movimento Compre & Confie, o faturamento cresceu cerca de 56.8% nos 8 primeiros meses de 2020, assim como o número de transações digitais que cresceu por volta de 65.7%. Portanto pode-se observar que diversos processos foram digitalizados, além disso muitas pessoas, que não possuíam familiaridade com ferramentas digitais, entraram em uma situação de aprender rapidamente a como se portar em um mundo digital, experiência que na maior parte das vezes é delicada.

A situação descrita acima foi observada pela pesquisa da Cetic.br, que identificou

um aumento relevante no número de compras online pelas classes C, com aumento de 37% para 64%, e nas classes D e E com aumento de 18% para 44%. Ou seja, pessoas com menor escolaridade e menor familiaridade com o mundo online, em um curto espaço de tempo, começaram a migrar para um ambiente digital.

Ademais, em uma condição na qual a utilização da internet é crescente por parte dos usuários, concomitantemente está ocorrendo um aumento na produção de dados e novas formas de extrair valor e relacionamento a partir deles. Neste cenário é capaz de observar o fenômeno que ficou conhecido como Big Data, caracterizado pela alta velocidade de processamento, volume e variedade de dados e informações armazenadas em bancos de dados, podendo ser definido como “[...] a capacidade de uma sociedade de obter informações de maneiras novas a fim de gerar ideias úteis e bens e serviços de valor significativo. Assim, a verdadeira revolução não está nas máquinas que calculam dados, e sim nos dados em si e na maneira como usamos” (MAYER-SCHÖN- BERGER; CUKIER, 2013).

Ao relacionar a rápida evolução da tecnologia de extração, processamento e análise de dados junto à falta de transparência em relação a forma como tais dados são tratados e manipulados, criam-se situações potencialmente nocivas àqueles que disponibilizam seus dados pessoais, assim “[...] a combinação de dados aparentemente inofensivos provenientes de diversas bases ou a análise de grandes bases de dados pode gerar informações potencialmente perigosas para indivíduos, organizações e até mesmo estados, e isso é difícil de prever com suficiente antecipação”(Breternitz, Vivaldo & Lopes, Fabio & Silva, Leandro, 2013).

O Artigo “Malice Domestic: The Cambridge Analytica Dystopia”, escrito por Hal Berghel, aborda o escândalo da Cambridge Analytica, que foi acusada de interferir nas eleições presidenciais de 2016 nos EUA, ao utilizar da má prática de compartilhamento de dados praticada pelo Facebook.

Os dados gerados pelos usuários e compartilhados pelo Facebook e outras fontes, foram usados para catalogar o perfil dos eleitores e direcionar propagandas e materiais pró Trump e mensagens contrárias à candidata Hillary Clinton. Entre os dados utilizados para esta estratégia, estavam nomes, profissões, contatos, local de moradia, locais frequentados, e hábitos. Tais dados foram coletados sem o conhecimento dos usuários e posteriormente utilizados para influenciar os próprios eleitores.

É possível traçar um paralelo entre a passagem descrita acima e o artigo “What is data justice? The case for connecting digital rights and freedoms globally”, da autora Linnet Taylor. Nesse artigo é abordada a ideia de “direito de dados” que determina caminhos éticos a serem tomados em um mundo de dados.

Segundo a autora, a manipulação e monitoramento das pessoas se torna cada vez mais assertiva, uma vez que as junções entre bases de dados tornam-se cada vez mais apuradas. Tais características tendem a ferir direitos de privacidade da população e abre

a discussão sobre o quão correto é utilizar-se de tais dados, muitas vezes gerados sem consentimento do público.

Assim, é criado um quadro de fragilidade para com a segurança digital dos usuários, ao relacionar fatores como, a expansão do ambiente digital no cotidiano, a necessidade da adoção de ferramentas digitais, agregados à rápida evolução da tecnologia, em contraste a um desenvolvimento mais lento e gradual da percepção dos usuários sobre os riscos relacionados à disponibilização de seus dados.

2.3 Vigilância com os dados

A crescente interação entre as pessoas e o ambiente digital se deu por diversos fatores, entre eles, a pandemia da COVID-19. A mudança de comportamento da sociedade visando um maior distanciamento social, gerou um aumento em interações através dos meios digitais. Com a utilização e dependência crescente dos serviços de Tecnologia da Informação, pôde-se observar o aumento de ataques cibernéticos.

Em um relatório chamado Fraud & Abuse Report, realizado pela empresa norte-americana Arkose Labs que é especializada na área de segurança da informação, o Brasil figurou entre os top 5 países com mais fraudes virtuais. Foi observado um grande aumento de fraudes em e-commerces, setor de jogos online e ataques contra dispositivos utilizados para trabalhar remotamente. Ou seja, todos os setores que receberam um maior fluxo de dados durante o período pandêmico, sofreram mais golpes virtuais.

Um grande exemplo de fraude digital ocorreu logo no início de 2021, um mega vazamento de dados que afetou mais de 200 milhões de brasileiros, o que gerou insegurança e desconfiança por parte da população por não saber o que foi vazado ou quem tem acesso a tais dados de forma clara. Entre tais dados, foram vazados CPFs, nomes, datas de nascimento, informações de veículos, CNPJs, entre outros. Tal vazamento faz com que diversos indivíduos estejam vulneráveis aos mais diversos crimes digitais.

Segundo Gordon e Ford (2006), crimes digitais podem ser separados em duas categorias, uma com foco na questão técnica e outra com foco no fator humano.

A primeira possui uma natureza mais técnica, podendo ser caracterizada por falhas de hardware ou software, e muitas vezes se tornam vulneráveis a ataques *hackers*. Nessa circunstância, a solução se dá através da mesma tecnologia, focando em questões de segurança, desde o planejamento até a implementação, visando softwares e hardwares mais seguros.

Um exemplo de falha técnica pôde ser visto logo ao início da pandemia. Em um contexto de isolamento social, plataformas de reunião virtual obtiveram uma grande aderência por parte das pessoas que buscavam novas formas de comunicação. Entre essas plataformas, a aplicação Zoom, foi destaque por demonstrar falhas de segurança digital. Em seu texto “PANDEMIA NA PANDEMIA: A ESCALADA DE ATAQUES CIBERNÉTICOS PÓS COVID-19” (2020), Nagli discorre: “Em um contexto de isolamento social, plataformas

de reunião virtual obtiveram uma grande aderência por parte das pessoas que buscavam novas formas de comunicação. Entre essas plataformas, a aplicação Zoom, foi destaque na grande mídia por demonstrar falhas de segurança digital.”.

A segunda categoria, relacionada ao fator humano na interação entre pessoa e máquina, ocorre em diversos casos em que o usuário, por falta de conhecimento sobre os procedimentos corretos dentro do ambiente digital, cria brechas de segurança. Segundo o relatório “2021 Data Breach Investigations Report” (DBIR) da Verizon, cerca de 85% das violações de dados envolveram interações humanas, deixando clara a relevância do fator humano na segurança de dados. A solução nesse caso, se dá via a educação do indivíduo em relação à como interagir com o ambiente digital.

Quando se discute o tema comportamento das pessoas no mundo digital, o termo cidadão digital (digital citizen) torna-se importante para a discussão. Segundo Mike Ribble, 2011, cidadão digital pode ser definido como aquele que utiliza da tecnologia de maneira efetiva e apropriada.

Já a cidadania digital possui outra definição, segundo Searson, Hancock, Soheil, & Shepherd, 2015, a cidadania digital pode ser definida como o conjunto de qualidades exigidas para cidadãos utilizarem ferramentas digitais em diversos ambientes digitais de maneira adequada. No seu livro de 2015 “Digital Citizenship in Schools: Nine Elements All Students Should Know”, Ribble elenca os nove elementos que compõem a cidadania digital. Entre esses fatores está a Segurança digital, definida pelo próprio autor como as precauções eletrônicas para garantir a segurança. Tal fator muitas vezes é ignorado, ao não se ler termos de contratos em sites e aplicações, não tomar os devidos cuidados com as senhas de segurança pessoais. Essas situações mostram-se curiosas, uma vez que no mundo físico o comportamento tende a ser o contrário, colocamos trancas e fechaduras nas portas, instalamos aparelhos de segurança em casa, câmeras de vigilância etc.

Junto da cidadania digital, está o termo digital literacy, que segundo Martin, pode ser definida como:

“o conhecimento, atitude e habilidade dos indivíduos de usar apropriadamente ferramentas digitais para identificar, acessar, gerenciar, integrar, avaliar, analisar e sintetizar recursos digitais, construindo um novo conhecimento... habilitando ações sociais construtivas, e reflexão ao longo desse processo” (Martin,2006, p.155)

Tais conceitos como cidadania digital e digital literacy, estão relacionados diretamente à educação do indivíduo em relação à segurança no mundo digital. Assim, dentro de um contexto cada vez mais digital, cenário acelerado consideravelmente pela pandemia como abordado anteriormente, o tema da segurança não se encontra isolado ao restante da experiência digital dos usuários. Ademais, o entendimento da Lei, que abrange o contexto digital, também será parte fundamental a ser compreendida por todos, uma vez que traçar a linha tênue o que separa o mundo físico do virtual se torna progressivamente mais difícil.

3 | METODOLOGIA

A partir do cenário apresentado ao longo do referencial teórico, e considerando a carência de estudos relacionados ao nível da percepção de indivíduos para com as leis digitais, foi realizado um estudo exploratório, que de acordo com Gil (2012, p. 12), “têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores”. Desse modo, foram realizadas pesquisas bibliográficas relacionadas ao tema das Leis Digitais e temas relacionados ao seu contexto, visando compreender o nível técnico de informações disponíveis que auxiliassem a responder a pergunta “Qual o nível de percepção das pessoas em relação aos direitos e responsabilidades que a Lei Geral de Proteção de Dados impõe?”.

A escolha da metodologia a ser utilizada foi a quantitativa. A metodologia quantitativa, de acordo com Lozada e Nunes, “utiliza instrumentos de coleta de dados estruturados, como questionários, para fazer a captação de dados, que são generalizados de uma amostra para toda uma população estudada”. O estudo exploratório através da revisão da bibliografia, auxiliou na concepção das perguntas presentes dentro do formulário de pesquisa.

Com o intuito de entender as características e comportamentos dos indivíduos dentro do ambiente digital que é envolvido pela LGPD, um formulário de pesquisa foi criado utilizando a ferramenta Google Forms, aplicação criada pelo Google para criar e enviar formulários online, que ficou disponível para recepção de respostas ao longo de 29 dias, a partir do dia 30 de junho de 2022 até o dia 29 de julho de 2022.

Com as informações obtidas a partir do formulário, será realizada uma análise quantitativa dos dados através da construção e comparação de gráficos, buscando compreender e descrever a relação entre o comportamento do usuário dentro do ambiente digital e a sua compreensão sobre a Lei.

Desse modo, as perguntas foram divididas em duas seções: preliminar e comportamental.

A seção de qualificação do respondente tem como objetivo classificar os entrevistados com base na sua escolaridade, idade, localização e consumo de internet, buscando entender o perfil dos participantes.

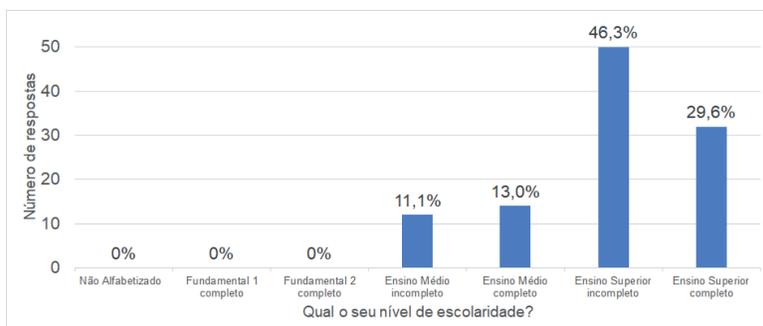
A seção comportamental possui perguntas que visam compreender o nível de percepção dos entrevistados em relação às Leis Digitais. Para compor parte das perguntas inseridas na seção comportamental do formulário e medir valores subjetivos, tais como a percepção, esse estudo utilizou a escala Likert, que “consiste em tomar um construto e desenvolver um conjunto de afirmações relacionadas à sua definição, para as quais os respondentes emitirão seu grau de concordância.”(Júnior, Severino Domingos da Silva, and Francisco José Costa). (2014).

Os resultados deste estudo estarão sujeitos à limitação das respostas fornecidas pela população pesquisada. Dessa forma, a generalização dos dados obtidos a partir do formulário não garantem que os resultados sejam os mesmo em qualquer lugar, período ou outro grupo, que não o grupo de participantes analisados dentro deste estudo.

4 | RESULTADO E DISCUSSÃO

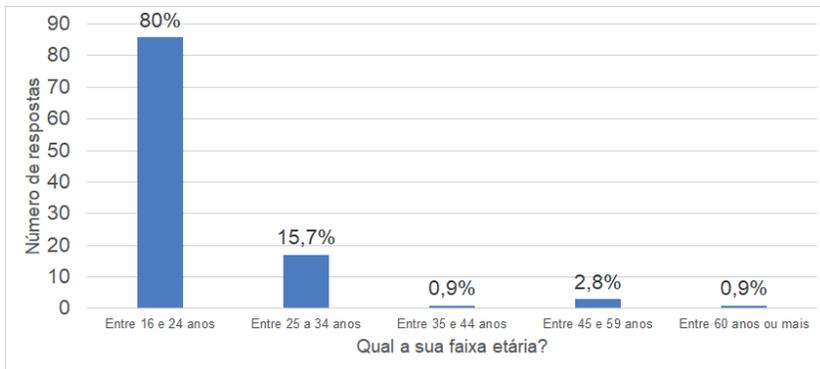
Com um total de 108 respostas coletadas ao longo de 29 dias, o questionário “Percepção sobre as Leis Digitais”, entregou um recorte de como pessoas de faixas etárias e níveis de escolaridade distintos interagem dentro da internet, junto de como elas compreendem os riscos, benefícios, e segurança da disponibilização de seus dados.

Considerando todas as respostas, 11,1% dos participantes afirmaram ter o Ensino Médio Incompleto, já 13% afirmaram ter o Ensino Médio Completo, outros 46,3% informaram ter o Ensino Superior Incompleto e 29,6% disseram ter o Ensino Superior Completo.



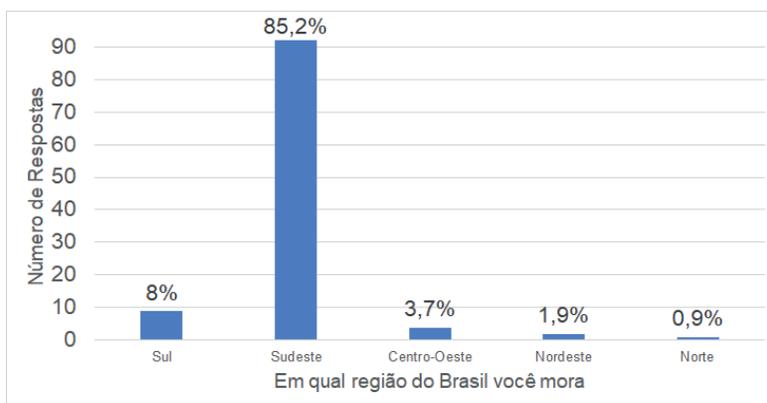
Pesquisa Qualidade Informações COVID19 – Pergunta: Qual o seu nível de escolaridade? [Figura 1]

Das 108 respostas coletadas, 79,6% dos participantes afirmaram ter entre 16 e 24 anos, já 15,7% disseram ter entre 25 e 34 anos, 0,9% informaram ter entre 35 e 44 anos, já 2,8% possuem entre 45 e 59 anos e outros 0,9% relataram ter 60 anos ou mais. Assim, 95,3% das pessoas envolvidas nesta pesquisa possuem entre 16 e 34 anos.



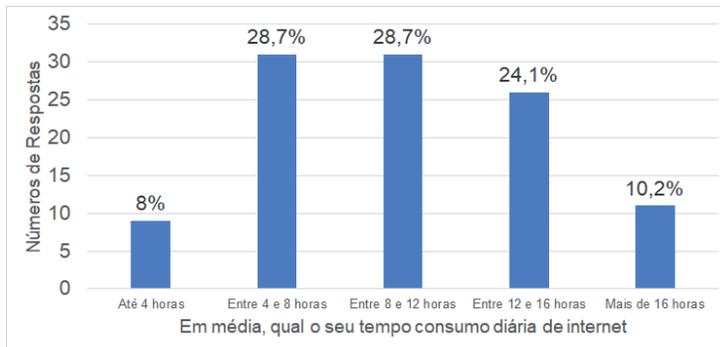
Pesquisa Qualidade Informações COVID19 – Pergunta: Qual a sua faixa etária? [Figura 2]

Aqueles que participaram do estudo também informaram a região na qual moram, e de acordo com os resultados obtidos, a maior parte dos participantes, representada por 85,2%, afirmaram morar no Sudeste, enquanto 8,3%, 3,7%, 1,9% e 0,9% disseram morar no Sul, Centro-Oeste, Nordeste e Norte, respectivamente.



Resultados: Pesquisa Qualidade Informações COVID19 – Pergunta: Em qual região do Brasil você mora? [Figura 3]

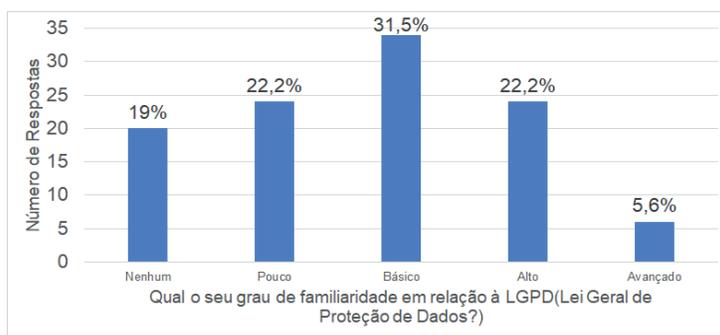
Buscando entender o nível de interação diária dos participantes com a internet, o questionário perguntou às pessoas qual o tempo médio de consumo diário de internet de cada. Em relação a essa questão, 8,3% dos participantes relataram ter um tempo médio de até 4 horas. O número de participantes que afirmaram ter entre 4 e 8 horas ou 8 e 12 horas de consumo diário de internet foi o mesmo, ambos 28,7%. Parte representada por 24,4% dos participantes disse usar a internet entre 12 e 16 horas, enquanto 10,2% responderam usar mais de 16 horas.



Pesquisa Qualidade Informações COVID19 – Pergunta: Em média, qual o seu tempo de consumo diário de internet? [Figura 4]

Após responder as perguntas preliminares, utilizadas para criar um perfil sociodemográfico, os participantes começaram a responder perguntas da seção comportamental, com o objetivo de entender o nível de percepção dos entrevistados em relação às Leis Digitais.

A primeira pergunta desta seção foi em relação ao grau de familiaridade das pessoas em relação à LGPD. Entre todos os participantes, 18,5% disseram ter nenhum conhecimento ou familiaridade com LGPD, já 22,2% afirmaram ter pouca familiaridade, 31,5% responderam básico, outros 22,5% consideraram sua familiaridade como alta e 5,6% disseram ter um grau de familiaridade avançado. Entre os que responderam ter uma alta familiaridade com a LGPD, a maior parcela é representada por aqueles que utilizam a internet de 12 a 16 horas, com um total de 33%.

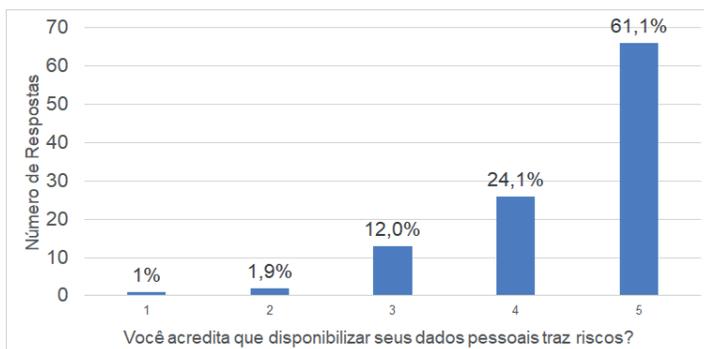


Pesquisa Qualidade Informações COVID19 – Pergunta: Qual o seu grau de familiaridade em relação à LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados)? [Figura 5]

Após entender o grau de familiaridade em relação à LGPD, os participantes responderam perguntas relacionadas à disponibilização de seus dados pessoais, tópico central da Lei Geral de Proteção de Dados, com o objetivo de entender a percepção das

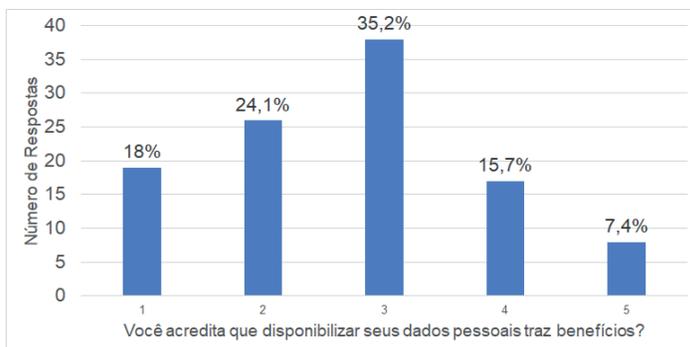
peças em relação aos riscos, benefícios e confiança na disponibilização de tais dados. Essas perguntas adotaram uma escala gradual de 1 a 5, tendo 1 como discordo totalmente e 5 como concordo totalmente.

Os participantes responderam à pergunta “Você acredita que disponibilizar seus dados pessoais traz riscos?”. A partir dessa pergunta foi possível observar que a maior parte dos entrevistados acreditam que a disponibilização de seus dados traz riscos, tendo 85,2% que responderam 4 ou 5, em contraste aos 2,7% que responderam 1 ou 2.



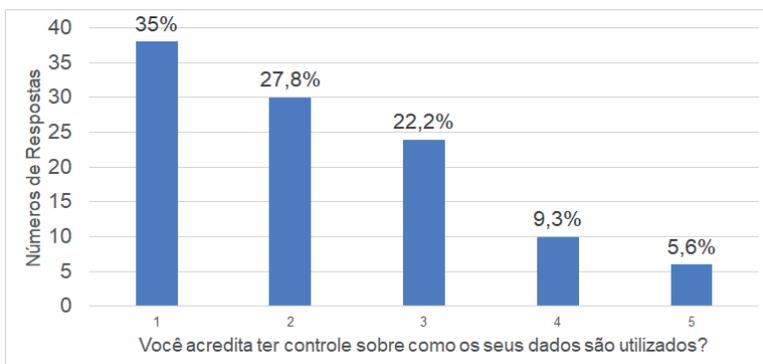
Pesquisa Qualidade Informações COVID19 – Pergunta: Você acredita que disponibilizar seus dados pessoais traz riscos? [Figura 6]

Os participantes também foram questionados com a pergunta “Você acredita que disponibilizar seus dados pessoais traz benefícios?”. Nesta pergunta os resultados foram mais equilibrados em relação à questão dos riscos, 41,7% responderam 1 ou 2, enquanto 23,1% assinalaram 4 ou 5 e um total de 35,2% selecionaram 3 como resposta. Apesar de um maior equilíbrio em relação à questão anterior, houve uma tendência maior de respostas contrárias à afirmativa de que disponibilizar dados pessoais traz benefícios.



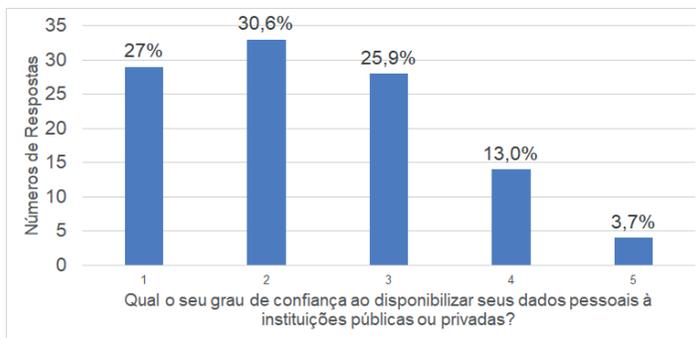
Pesquisa Qualidade Informações COVID19 – Pergunta: Você acredita que disponibilizar seus dados pessoais traz benefícios? [Figura 7]

Com o objetivo de compreender a percepção dos entrevistados em relação ao controle dos seus dados, foi realizada a pergunta “Você acredita ter controle sobre como seus dados são utilizados?”. Os participantes demonstraram uma maior discordância em relação à pergunta, sendo que 63% das pessoas responderam 1 ou 2, em contraste aos 11,9% que assinalaram 4 ou 5. Entre os participantes que disseram ter um nível de conhecimento “básico” em relação à LGPD, 70,6% afirmaram 1 ou 2, número maior em comparação ao total de respostas.



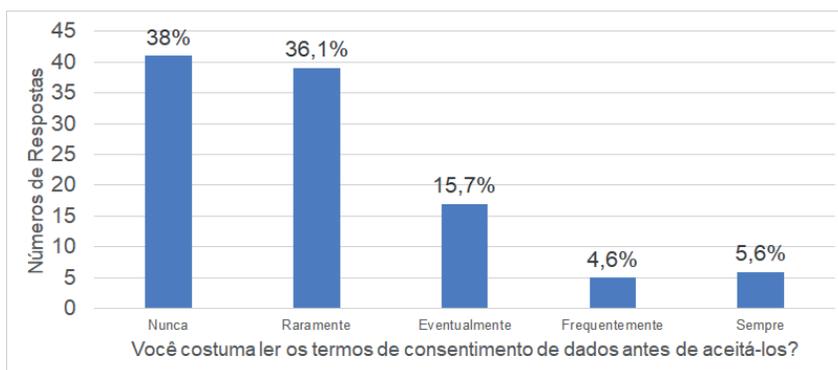
Pesquisa Qualidade Informações COVID19 – Pergunta: Você acredita ter controle sobre como os seus dados são utilizados? [Figura 8]

Os entrevistados também responderam à pergunta “Qual seu grau de confiança ao disponibilizar seus dados pessoais à instituições públicas ou privadas?”. As respostas deste item demonstraram uma tendência similar à pergunta anterior relacionada ao controle de seus dados pessoais, sendo que nessa questão os participantes também demonstraram uma tendência a um grau menor de confiança ao disponibilizar seus dados. 57,5% dos entrevistados responderam 1 ou 2, em oposição aos 16,7% que responderam 4 ou 5. Entre os participantes que disseram ter um nível de conhecimento “básico” em relação à LGPD, 64,7% afirmaram 1 ou 2, número maior em comparação ao total de respostas.



Pesquisa Qualidade Informações COVID19 – Pergunta: Qual o seu grau de confiança ao disponibilizar seus dados pessoais à instituições públicas ou privadas? [Figura 9]

Com o intuito de compreender como os participantes comportam-se diante de uma situação de disponibilização de dados pessoais, foi realizada a pergunta “Você costuma ler os termos de consentimento de dados antes de aceitá-los?”. Entre os 108 entrevistados, 38% dos participantes afirmaram nunca ler os termos de consentimento de dados, já 36,1% disseram ler raramente, 15,7% informaram que eventualmente realizaram essa leitura, enquanto 4,6% e 5,6% assinalaram frequentemente e sempre, respectivamente.



Pesquisa Qualidade Informações COVID19 – Pergunta: Você costuma ler os termos de consentimento de dados antes de aceitá-los? [Figura 10]

Portanto, ao longo da análise de resultados é possível notar que os entrevistados em sua maioria, tendem a acreditar que existem riscos ao disponibilizar seus dados pessoais, junto a uma falta de controle perante a tais dados. Porém, mesmo diante deste cenário pessimista em relação à disponibilização de dados, não possuem o hábito de realizar a leitura dos termos de consentimento de dados antes de aceitá-los, demonstrando uma contradição, uma vez que não ler tais termos diminui o conhecimento do indivíduo sobre quais dados serão disponibilizados e como serão tratados.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo buscou possibilitar uma maior compreensão de qual o nível de entendimento e de percepção das pessoas em relação à LGPD. Dentro de um contexto de maior utilização da internet e serviços digitais, maior produção de dados e aumento no número de fraudes virtuais, fatores impulsionados pela pandemia de COVID-19, legislações relacionadas à regulação de dados, tais como a LGPD e a GDPR tornam-se cada vez mais necessárias, visando proteger os dados pessoais dos titulares de dados.

Em um contexto de expansão da tecnologia, concomitantemente ocorre uma evolução nos processos de coleta, tratamento e análise de dados, gerando novas formas de extrair padrões e informações. Tal fato torna possível a criação de situações possivelmente prejudiciais aos titulares desses dados, uma vez que a associação de dados pode gerar informações que violam o direito de privacidade dos usuários, que muitas vezes não entendem quais dados estão sendo disponibilizados e como serão utilizados.

A evolução da tecnologia agregada a uma maior digitalização dos processos, trouxe mudanças ao cotidiano de diversas pessoas, alterando a forma como elas interagem e consomem serviços. Entretanto, parcela considerável do público que teve sua vivência digital estimulada, não possui conhecimento ou habilidades para interagir dentro do mundo digital de forma apropriada e segura. Dessa forma é possível observar uma rápida evolução da tecnologia, maior adoção de ferramentas digitais, em contraste a uma curva de desenvolvimento mais lenta e gradual do usuário para com a sua educação dentro do contexto digital, proporcionando um quadro de fragilidade para a sua segurança de dados.

Assim, conceitos como digital literacy, e cidadania digital enquadram-se nesse cenário de educação do indivíduo, que dentro do contexto digital, deve entender seus direitos e responsabilidades dentro do mundo virtual, sendo capaz de utilizar os recursos e ferramentas digitais de forma apropriada e construtiva. Dessa maneira, compreender e ter o entendimento da Lei que visa proteger os direitos de privacidade de dados do usuário torna-se cada vez mais necessário, pois o indivíduo será exigido gradativamente a saber portar-se em um ambiente digital, tal como é exigido no contexto do mundo analógico.

Ao longo da análise de dados coletados, foi possível perceber uma tendência pessimista por parte dos participantes em relação à disponibilização de dados pessoais, tendo em vista que a maior parte dos entrevistados entende que entregar tais dados pode trazer riscos. Ademais, eles também demonstraram ter o entendimento que não possuem controle sobre os dados pessoais que são disponibilizados. Entretanto, parte considerável do público demonstrou não ter o hábito de ler os termos de consentimento de dados antes de aceitá-los, demonstrando uma contradição entre o que o público pensa em relação aos riscos de conceder seus dados pessoais e as suas ações do cotidiano relacionados à essa disponibilização de informações. No que tange a familiaridade do público entrevistado em relação à LGPD, foi possível coletar informações consideráveis em todos os níveis de

entendimento, tendo em vista que a maior parte das pessoas afirmaram ter um grau de familiaridade básico considerando a Lei Geral de Proteção de Dados.

A coleta de dados do presente estudo demonstrou-se limitada ao público entrevistado, cujo a maioria apresentou ter entre 16 e 24 anos, vivência acadêmica e morar na região sudeste. Para estudos futuros, recomenda-se investigar uma amostra de população maior, junto a um estudo qualitativo para buscar compreender melhor a contradição apresentada, junto a uma melhor investigação de como os indivíduos se portam dentro do contexto digital com base no entendimento em relação à LGPD.

APOIO

PIBIC Mackenzie

REFERÊNCIAS

ABCOMM. Faturamento do e-commerce cresce 56,8% neste ano e chega a R\$ 41,92 bilhões. 21 set 2020. Disponível em: <https://abcomm.org/noticias/faturamento-do-e-commerce-cresce-568-neste-ano-e-chega-a-r-4192-bilhoes/>.

ARKOSE LABS. Fraud & Abuse Report Q2 2020. Disponível em: <https://www.arkoselabs.com/wp-content/uploads/Fraud-Report-Q2-2020.pdf>. 2020.

Berghel, Hal. "Malice domestic: The Cambridge analytica dystopia." *Computer* 51.05 (2018): 84-89.

BRASIL, Comitê Geral de Internet. Pesquisa web sobre o uso da Internet no Brasil durante a pandemia do novo coronavírus - Painel TIC COVID-19. São Paulo: Cetic.br, 2021. Disponível em: https://cetic.br/media/docs/publicacoes/2/20210426095323/painel_tic_covid19_livro_eletronico.pdf.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Lei 12.964/14, de 23 de abril de 2014. Marco Civil da Internet. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l12965.htm >.

Brasil. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília, DF: Presidência da República; 2018. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13709.htm.

BRASIL. Lei nº. 8.078, de 11 de setembro de 1990. Código de Defesa do Consumidor. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8078.htm

Breternitz, Vivaldo & Lopes, Fabio & Silva, Leandro. (2013). O uso de Big Data em Computacional social Science: tema que a sociedade precisa discutir. *Revista Reverte - FATEC*. 11.

CETIC. TIC COVID-19. Pesquisa sobre o uso da internet no Brasil durante a pandemia do novo coronavírus. Disponível em: https://cetic.br/media/docs/publicacoes/2/20200817133735/painel_tic_covid19_1edicao_ivro%20eletr%C3%B4nico.pdf.

G1. Megavazamento de dados de 223 milhões de brasileiros: o que se sabe e o que falta saber. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/tecnologia/noticia/2021/01/28/vazamento-de-dados-de-223-milhoes-de-brasileiros-o-que-se-sabe-e-o-que-falta-saber.ghtml>. Acesso em: 20 out. 2021.

Gordon, Sarah, and Richard Ford. "On the definition and classification of cybercrime." *Journal in computer virology* 2.1 (2006): 13-20.

Júnior, Severino Domingos da Silva, and Francisco José Costa. "Mensuração e escalas de verificação: uma análise comparativa das escalas de Likert e Phrase Completion." *PMKT—Revista Brasileira de Pesquisas de Marketing, Opinião e Mídia* 15.1-16 (2014): 61.

Lozada, Gisele, and Karina da Silva NUNES. "Metodologia científica." Porto Alegre: SAGAH (2018).

Martin, Allan. "A european framework for digital literacy." *Nordic Journal of Digital Literacy* 1 (2006): 151-161.

MAYER-SCHÖNBERGER, Viktor; CUKIER, Kenneth. *Big data: como extrair volume, variedade, velocidade e valor da avalanche de informação cotidiana*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

NAGLI, Luiz Sérgio Dutra. PANDEMIA NA PANDEMIA: A ESCALADA DE ATAQUES CIBERNÉTICOS PÓS COVID 19. In: *Anais do Congresso Transformação Digital 2020*, São Paulo. Fundação Getulio Vargas.

Pinheiro, Patricia Peck. *Proteção de Dados Pessoais: Comentários à Lei n. 13.709/2018-LGPD*. Saraiva Educação SA, 2020.

RIBBLE, Mike. *Digital Citizenship in Schools*. 2. ed. Washington DC: International Society for Technology in Education, 2011. 150 p.

RIBBLE, Mike; BAILEY, Gerald. *Digital Citizenship in Schools: Nine Elements All Students Should Know*. 3. ed. Washington DC: International Society for Technology in Education, 2015. 222 p.

TAYLOR, Linnet. *What is data justice? The case for connecting digital rights and freedoms globally*. *Big Data & Society*, v. 4, n. 2, p. 2053951717736335, 2017.

Widup, Suzanne & Pinto, Alex & Hylender, David & Bassett, Gabriel & langlois, philippe. (2021). *2021 Verizon Data Breach Investigations Report*.

EDUARDO CESAR AMANCIO - Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2018), e mestrado em Engenharia Civil com ênfase na área de Transportes e Mobilidade Urbana pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela (2022). Participou de projetos de pesquisa na área de Engenharia de Tráfego (Estudo naturalístico de direção brasileiro - NDS-BR), Mobilidade Urbana (Studio Cidades e Biodiversidade), Segurança Viária (A caminho do trabalho: uma pesquisa sobre acidentes de trajeto no setor industrial do Paraná) e Transporte Público. Possui publicações em revistas, capítulos de livros, anais de congressos e simpósios, majoritariamente na área de Transportes. Atuou como Pesquisador no Observatório Nacional de Segurança Viária (ONSV). Atualmente trabalha como Engenheiro Pesquisador no Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC) e como Professor do magistério superior no Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC).

A

Acidente de trabalho 63, 64
Águas profundas 95, 96, 97, 102
Aplicações tecnológicas em meio social 153
Apoio multicritério à decisão 123, 125, 134
Argila sintética 163

B

Baixo teor 26, 28, 31, 33, 36, 93
Barragens 26, 33, 34, 35
Beneficiamento 26, 28, 29, 34, 35, 36
Bibliometria 123
Bloco 8 25, 26, 28, 33, 35, 36

C

Camada porosa de atrito 74, 75, 76, 81, 82
Carga térmica predial 10
Caulinita 163, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173
Cidadão digital 189, 197
Cidades inteligentes 152, 153, 154, 155, 156, 157, 161
Costos de inversión 136, 138, 147, 149

D

Drenagem 74, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 167

E

Elucidações introdutórias 116
EnergyPlus™ 10, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 22, 23, 24
Engenharia de segurança 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 60, 61, 62, 70

F

Feridas cutâneas 39, 47
Fluxo de permeado 83, 87, 88, 89, 91
Fouling 83, 84, 85, 91, 94
Frente de equilíbrio 83, 85, 86, 88, 89, 90, 92, 93

I

Indústria madeireira 63, 65, 66, 73

J

Jupati 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47

L

Leis de Regulação de Dados 189

M

Minério de ferro 25, 26, 27, 28, 31, 35, 36

Modelo geomecânico 95, 97, 102

O

Ordinal logistic regression 104, 105

Otimização 2, 10, 11, 12, 18, 22, 23, 24, 153, 154

P

Pavimentação 74, 81, 82

Pirofosfato 163, 165, 166, 167, 168, 171, 172, 173

Pracaxi 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48

Produtos naturais 39, 176, 177, 178, 182, 183, 186

Prométhée 123, 124, 125, 126, 127, 134

Q

Qitosana 38, 39, 40, 41, 42, 45, 46, 47, 48, 49

R

Reativação de falhas 95, 96, 97, 99, 102

Reservatórios de petróleo 95

Robôs em aplicações inóspitas 52

Robótica 52, 54, 55, 56, 62, 152, 153, 156, 157, 158

Robótica assistiva 153, 157

Robótica autônoma 153

S

Scilab 83, 84, 86, 87

Segurança de dados 189, 197, 205

Segurança do trabalho 51, 54, 55, 56, 57, 60, 61, 62, 63, 66, 69, 70, 72, 73

Sistema de arquivos 116, 117, 118, 121, 122

Sistema NTFS 116

Statistical package R 104, 105

Sustentabilidade 56, 155, 177, 186

T

Tecnologia supercrítica 176, 177, 178, 181, 182, 183, 186, 187

Tiamina 163, 165, 166, 168, 172, 173

Transporte 4, 29, 33, 47, 57, 82, 84, 93, 96, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 147, 148, 149, 150, 153, 154, 155, 157, 158, 161, 208

Tren de alta velocidad 136, 137, 139, 140, 141, 142, 144, 145, 146, 148, 149, 150

V

Viabilidade financeira 136, 140

VRV 10, 11, 12, 21, 23



ENGENHARIAS:

DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS E PRODUTOS

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

2



ENGENHARIAS:

DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS E PRODUTOS

-  www.arenaeditora.com.br
-  contato@arenaeditora.com.br
-  [@arenaeditora](https://www.instagram.com/arenaeditora)
-  www.facebook.com/arenaeditora.com.br

2